„Știință și progres tehnologic”

K.V. Chibisov V.I. Sheberstov A.A.Slutskin

Fotografie în trecut, prezent și viitor

~<⅜⅛5>0 '®ŒBS®æa®a(g£

⅛iQf"aι -c . -

ACADEMIA DE ȘTIINȚE URSS

Seria „Știință și progres tehnologic” Fondată în 1972

K. V. Chibisov

V. I. Sheberstov

A.A.Slutskin

Fotografie în trecut, prezent și viitor

Editor executiv Doctor în științe tehnice, profesor Yu. A. BRESLAV

„Știința” de la Moscova

1988

BBK 37,94

Ch 58

UDC 77"311/313"

Autor al prefeței: doctor în științe tehnice, profesor Yu. A. BRESLAV

Referent Membru corespondent al Academiei de Științe a URSS M. V. ALFIMOV

Chibisov K.V. și colab.

Partea 58 Fotografia în trecut, prezent și viitor / K. V. Chibisov, V. I. Sheberstov, A. A. Slutskin; Reprezentant. ed. şi ed. prefaţă Yu. A. Breslav.- M.: Nauka, 1988. - 175 p.: ill. (Seria „Știință și progres tehnologic”).

LSBN 5-02-001414-1

Cartea este dedicată dezvoltării fotografiei pornind de la procesele fotografice din prima jumătate a secolului al XIX-lea. și terminând cu metode moderne de fotografie cu capabilitățile lor bogate care fac posibilă înregistrarea proceselor rapide, a diferitelor tipuri de radiații electromagnetice, reproducerea cu acuratețe a obiectelor colorate etc. Etapele obținerii unei imagini fotografice în procesul

foto clasic și pe materiale care nu nu conțin halogenuri de argint sunt descrise într-o formă populară , folosind așa-numita fotografie fără argint. Sunt prezentate perspectivele dezvoltării fotografiei.

Pentru o gamă largă de cititori.

2803080000-030

4 054(02)-88

80–86 NP

BBK 37,94

ISBN 5-02-001414-1

De la redactor

1 martie 1987 a marcat 90 de ani de la nașterea unuia dintre fondatorii științei fotografice sovietice, Konstantin Vladimirovici Chibisov, membru corespondent al Academiei de Științe a URSS, președinte al Consiliului Științific al Academiei de Științe a URSS cu privire la problema „ Procese fotografice de înregistrare a informațiilor”, redactor-șef al „Revistei de fotografie și cinematografie științifică și aplicată”.

Timp de peste 60 de ani, activitatea științifică a lui K. V. Chibisov a fost dedicată problemelor fizice și chimice ale fotografiei, rezultatul acesteia a fost contribuția remarcabilă a omului de știință la dezvoltarea teoriei procesului fotografic. Cercetările lui K.V.Chibisov, acoperind aproape toate etapele acestui proces: sinteza emulsiilor, fotoliză, dezvoltare, au condus la cea mai importantă concluzie despre unitatea lor chimică.

În mare parte datorită cercetărilor teoretice și experimentale ale lui K. V. Chibisov, fotografia este astăzi un domeniu științific și tehnic major care acoperă studiul proceselor fotografice și fotochimice în medii sensibile la lumină, procesele de sinteză și prelucrare a materialelor sensibile la lumină și proprietățile lor informaționale. . Dezvoltarea fotografiei asigură progrese în multe domenii importante ale științei și tehnologiei, inclusiv cercetarea aerospațială, microelectronica, radiografia, prelucrarea optică a informațiilor etc.

Numeroase lucrări ale lui K. V. Chibisov (peste 300 de publicații) sunt rezumate în monografiile sale: „Theory of Photographic Processes” (1935), „Chemistry of Photographic Emulsions” (1975), „The Nature of Photographic Sensitivity” (1980), „General”. Fotografie” (1984). Editura Nauka pregătește pentru publicare o monografie de K. V. Chibisov, „Dezvoltarea fotografică”.

Această carte de știință populară „Fotografia în trecut, prezent și viitor” a fost scrisă de K. V. Chibisov în colaborare cu profesorul V. I. Sheberstov

și candidat la științe tehnice A. A. Slutskin și este destinat unei game largi de cititori. Acesta examinează toate etapele cele mai importante în dezvoltarea fotografiei și perspectivele pentru viitorul apropiat. Simplitatea prezentării este combinată cu succes cu un nivel științific destul de ridicat de acoperire populară a unor probleme atât de complexe precum mecanismul formării imaginilor latente, procesele de dezvoltare chimică etc. Toate acestea au făcut cartea utilă, interesantă și accesibilă pentru cea mai largă gamă de cititori. .

În opinia mea, această carte, scrisă la inițiativa și cu participarea directă a lui K.V. Chibisov, este o dovadă clară a dragostei sale fără vârstă pentru știință și a dorinței de a-și împărtăși cunoștințele.

Yu. A. Breslav

De la autori

Dorința de a arăta lumea din jurul nostru a fost întotdeauna caracteristică omului. Odată cu dezvoltarea societății, mijloacele vizuale au fost îmbunătățite continuu. Unul dintre principalele moduri de afișare din ultimii 150 de ani a fost fotografia. Până în prezent, în lume au fost făcute multe miliarde de fotografii, s-au scris sute de cărți despre fotografie, dar interesul pentru acest proces nu scade nici în rândul profesioniștilor, nici în rândul unei armate de milioane de fotografi amatori.

Termenul „fotografie” tradus în rusă înseamnă „pictură în lumină”, iar în înțelegerea modernă, mai largă a acestui cuvânt, înseamnă „înregistrarea unei imagini optice”. Când spunem „proces fotografic”, ne referim la transformarea unei imagini optice proiectate pe un strat fotosensibil într-o imagine fotografică durabilă folosind procesarea chimică (chimic-fotografică) a acestui strat.

Nu orice metodă de înregistrare a unei imagini pe un material fotosensibil poate fi numită fotografică. În plus, există metode de copiere care, ca și cele fotografice, permit obținerea unei imagini pe un material fotosensibil. Vom lua în considerare în principal procesele fotografice.

Cartea oferită atenției cititorilor este știință populară, iar aceasta ar trebui să determine atât conținutul ei, cât și nivelul de prezentare. Dacă ne limităm să luăm în considerare elementele de bază ale procesului fotografic, fără să ne oprim, cel puțin pe scurt, asupra principiilor fizice și chimice ale fotografiei, va deveni imposibil de înțeles esența metodelor de înregistrare a imaginilor. În plus, va fi foarte dificil să evaluezi progresul în capacitățile tehnice ale fotografiei. Pe de altă parte, ne-am dorit ca cartea să fie de înțeles în ceea ce privește nivelul ei de prezentare pentru o gamă largă de cititori, dintre care mulți nu au o pregătire specială.

5

La redactarea cărții, ne-am confruntat cu sarcina, în primul rând, de a caracteriza principalele etape și de a identifica tendințele în

dezvoltarea fotografiei. De asemenea, am încercat să anticipăm dezvoltarea fotografiei, inclusiv procesele sale individuale, pentru următorii 10-15 ani.

Cartea constă dintr-o Introducere, șapte secțiuni și o Anexă, care furnizează principalele caracteristici ale celor mai utilizate materiale fotografice și cinematografice.

Este evident că peste aproape un secol și jumătate de fotografie, procesul de obținere a unei imagini a fost modificat în mod repetat și, în același timp, terminologia a fost modificată. În numele primelor procese de înregistrare optică a imaginilor nu au fost menționate cuvintele „fotografie" și „fotografică". Acești termeni au apărut mult mai târziu, când materialele fotosensibile care conțin halogenuri de argint au început să fie folosite pentru înregistrarea imaginilor. Numele acestor materiale s-a schimbat de mai multe ori: halogenură de argint, halogenură de argint, halogenură de argint. În prezent, termenul cel mai des folosit este „halogenură de argint" (prin analogie cu „brom de argint", „clorură de argint"), iar utilizarea termenului „halogenură de argint" este de asemenea permisă. La redactarea secțiunii 1, care conține o schiță a istoriei dezvoltării fotografiei, am păstrat terminologia perioadei descrise.

Sperăm că cartea va fi de interes atât pentru fotografi amatori începători, cât și pentru cei care sunt implicați sau interesați de fotografie de mult timp. Pentru începători, va ajuta să înțeleagă elementele de bază ale proceselor fotografice; amatorii experimentați vor găsi probabil mai interesant materialul despre istoria dezvoltării fotografiei, precum și secțiunile dedicate proceselor fotografice relativ noi.

Vă vom fi recunoscători pentru feedback-ul și comentariile dumneavoastră cu privire la conținutul cărții.

Introducere

Fotografia modernă este utilizată pe scară largă ca mijloc de înregistrare a informațiilor optice (percepute vizual) și ca metodă de cercetare științifică.

Procesele fotografice sunt folosite ca unul dintre principalele mijloace tehnice de „afișare" a informațiilor în fotografia artistică, amatoare și de zi cu zi, precum și în cinematografie.

Fotografia nu este mai puțin, dacă nu mai importantă, pentru diverse ramuri ale științei și tehnologiei, de exemplu în fizica nucleară. După cum știți, descoperirea radioactivității în sine a fost făcută folosind o placă fotografică. Fotografia este o metodă de cercetare indispensabilă în astronomie, nu fără motiv, stabilirea multor modele cantitative importante în fotografie este asociată cu numele astronomilor K. Schwarzschild (Germania), J. Herschel (Anglia), etc. fotografia este utilizată pe scară largă în studiul proceselor rapide: balistice, pirotehnice; Metodele de utilizare a fotografiei sunt, de asemenea, cunoscute pentru înregistrarea proceselor care au loc lent, de exemplu, creșterea plantelor.

Fotografia este folosită pentru a înregistra mișcările oscilatorii în mecanică, acustică și inginerie electrică. Fotografia este foarte utilizată în cercetarea metalografică. Chimiștii, mineralogii și cristalografii recurg adesea la fotografie, de exemplu, la analiza structurală cu raze X, care se bazează pe procese fotografice. Este imposibil să ne imaginăm medicina modernă fără fluoroscopie. Fotografia este utilizată pe scară largă în știința criminalistică și este, de asemenea, folosită în studii istorice, paleontologice, arheologice, socio-economice și de artă.

Fotografia aduce o mare contribuție la dezvoltarea unui număr de industrii legate în principal de tehnologia tehnică.

procesarea informatiei. Astfel de industrii includ, în primul rând, tipărirea, cartografia, reprografia și o ramură deosebit de importantă a reprografiei - microfilmarea (micrografia).

Enumerarea domeniilor de aplicare a fotografiei ar putea fi continuată, dar ni se pare că acest lucru nu este necesar, întrucât este puțin probabil ca vreun cititor să se îndoiască de rolul important pe care fotografia îl joacă astăzi în viața noastră. Să notăm un singur detaliu caracteristic. Procesul fotografic a atins nivelul actual de dezvoltare datorită îmbunătățirii continue și pe termen lung a materialelor fotografice, a metodelor de prelucrare a acestora și a echipamentelor fotografice. Cu alte cuvinte, fotografia modernă este un produs al progresului cunoștințelor științifice și tehnice. În același timp, după cum sa menționat mai sus, fotografia în sine servește dezvoltării științei și tehnologiei, fiind un mijloc eficient de cercetare științifică și dezvoltare tehnică.

Procesul fotografic constă din două etape principale:

– formarea unei imagini latente sub influența energiei radiației reflectate de un obiect în timpul expunerii;

– vizualizarea unei imagini latente prin dezvoltare, după care imaginea vizibilă poate fi supusă unei prelucrări suplimentare pentru creșterea rezistenței la influențele externe.

Fotografia modernă are multe moduri de a înregistra o imagine folosind procese fotografice. Se deosebesc unul de altul atât prin operațiunile tehnologice, în principal prin metodele de vizualizare și prelucrare ulterioară a imaginii vizibile, cât și prin compoziția (structura) materialelor fotografice utilizate. În plus, procesele fotografice diferă prin mecanismul de obținere a imaginii, atât ascunse, cât și vizibile. Cu alte cuvinte, aceste diferențe pot fi nu numai tehnice, ci și fundamentale.

Clasificarea proceselor fotografice care sunt utilizate în prezent pe scară largă în practică sau care sunt promițătoare în acest sens este dată în Tabel. 1.

Astfel, fotografia în stadiul actual de dezvoltare este un complex de mijloace tehnice și

8

O

Tabelul 1. Clasificarea proceselor fotografice

Proces Material fotografic (strat fotosensibil) Mecanism de formare a imaginii latente
fotografică clasică Reducerea fotolitică a halogenură de argint
Fotografie cu dezvoltare termică Strat de emulsie cu halogen de argint care conține agent de dezvoltare și stabilizator La fel
Fotografie cu manifestare fizică Strat de emulsie cu halogenură de argint, cu concentrație scăzută de argint:>
cu difuzie fotografică care conține material negativ cu un strat de emulsie de halogenură de argint și material pozitiv cu un catalizator de depunere de argint"

Procesare Proces de redare a imaginii latente Imagine finală
Lichid chimic Reducerea catalitică a argintului pe centrele imaginii latenteNegativ, absorbant de lumină
Substanță chimică la încălzire La fel La fel
Lichid chimic Precipitarea argintului sau a metalului de bază din soluție pe centrele imaginii latente"
Lichid chimic sau semi-lichid Transfer prin difuzie de argint sau colorant redus Negativ sau pozitiv, absorbant de lumină

Tabelul 1 (sfârșit)

Proces Material fotografic (strat fotosensibil) Mecanism de formare a imaginii latente Prelucrare Proces de vizualizare a imaginii latenteImaginea finală
Electrofotografic Strat transparent de fotoconductor organic Descărcare selectivă a stratului fotoconductor Lichid Depunerea electrostatică a particulelor de revelator Același
Fototermoplastic Strat termoplastic fotoconductiv transparent Aceeași formare termică de microrelief sub influența forțelor electrostatice Negative sau pozitive, împrăștiere a luminii
Migrare Strat opac de particule fotoconductoare dispersate într-un polimer termoplastic Încărcare selectivă a particulelor care migrează Lichid, semi-lichid, termic Migrarea particulelor încărcate Negativ sau pozitiv, absorbant de lumină

Orez. 1. Sensibilitatea spectrală a materialelor fotografice

1 - nesensibilizat

materiale fotografice;

2 - ortocromatic;

3 - izoortocromatic;

4 - izocromatic;

5 - pancromatic;

6 - izopancromatic;

7 - paninfracromatic;

8 - infracromatic

tehnici tehnologice, dintre care multe au caracteristici specifice care fac posibilă utilizarea lor eficientă atât în sfera artistică și cotidiană, cât și în activitățile științifice și tehnice. Este evident că pentru a rezolva probleme atât de diverse, fotografia trebuie să folosească o varietate de mijloace tehnice.

În primul rând, această diversitate ar trebui să se refere la proprietățile materialelor fotografice care au scopuri diferite. Vom discuta mai detaliat proprietățile materialelor fotografice mai târziu. Caracteristicile acestor materiale sunt prezentate în Anexă.

Materialele fotografice pot fi clasificate după mai multe criterii:

– conform imaginii finale: alb-negru și color;

- după scop: fotografic și cinematografic, primul, la rândul său, poate fi cu scop general sau special;

II

Tabelul 2. Caracteristicile materialelor cu halogenură de argint pentru diverse scopuri

Materiale cu halogenură de argint	Caracteristicile materialului	
	fotosensibilitate S, unități"	rezoluție GOST Ri MM~1
Cea mai mare sensibilitate	1000-4000	40-60
Foarte sensibil	410-1000	60-90
Sensibilitate medie	100-400	100-160
Insensibil	10-100	200-400
Motiv special, inclusiv pentru		
microfilmare	0,1–10	300–900
holografie	0,01-0,2	1000–5000

– după sensibilitatea spectrală: ortocromatic, izoortocromatic, izocromatic, pancromatic, izopancromatic etc. (Fig. 1);

– prin sensibilitate integrală: foarte sensibil, moderat sensibil, scăzut sensibil (Tabelul 2).

În plus, același material poate fi adesea folosit în mai multe scopuri. De exemplu, un material cu sensibilitate scăzută, care atunci când este expus la surse convenționale de lumină este potrivit doar pentru copiere, poate fi folosit și pentru fotografie în combinație cu surse de lumină laser.

În ciuda diferențelor semnificative dintre procesele fotografice individuale, toate pot fi împărțite în două grupuri mari.

δt m2/J

IO-uri -

W2

Hidrură de argint Electrofotografică anorganică

Electrosrotograsric organic

∧ Fototermoplastic-Utic

W0

w^2

"

Radical liber

~ZZ,CZ ZZZ^-Diazotip

C._____¿-Fotocromatic

veziculoasă

w~b

10

100 100010000 Rln mm

Orez. 2. Zonele de fotosensibilitate (S) și rezoluție (R) ale materialelor fotosensibile cu halogenură de argint și non-argint

W

W

- §

12

1. Procese pe materiale cu halogenură de argint.

2. Procese pe materiale fotoconductoare. __

Acestea din urmă sunt adesea combinate sub denumirea generală „procese electrofotografice”. Fotografia pe materiale cu halogenură de argint este discutată în secțiunile 2-5, procesele electrofotografice în secțiunea 6.

Domeniul de aplicare al unui anumit material fotografic este determinat de caracteristicile acestuia, printre care fotosensibilitatea și rezoluția sunt de cea mai mare importanță. Se poate spune fără exagerare că pentru a determina nivelul de dezvoltare a unui anumit

proces (material) fotografic este suficient să se compare valorile atinse ale fotosensibilității și rezoluției cu nivelul teoretic realizabil al acestor caracteristici. Limitele atinse de sensibilitate și rezoluție pentru diferite materiale fotosensibile sunt prezentate în Fig. 2.

1.

O scurtă prezentare a istoriei invenției și dezvoltării fotografiei

Data „nașterii” fotografiei este considerată a fi 7 ianuarie 1839, când celebrul fizician francez Dominique François Arago a raportat la o reuniune a Academiei de Științe din Paris principiile generale ale dagherotipului, un proces fotografic inventat de Louis Jacques Mande. Daguerre în 1835. D. Arago nu numai că a prezentat membrii Academiei cu primul proces fotografic, dar a dat și o explicație fizică a principiului formării unei imagini latente. În august 1839, a fost publicată o descriere tehnică a dagherotipului, iar din acel moment procesul fotografic a devenit proprietatea omenirii.

Din 1835, procesele fotografice s-au dezvoltat în două direcții simultan: 1) obținerea unei imagini de argint, în principal pe materiale cu halogenură de argint, și 2) obținerea unei imagini pe materiale fotosensibile care nu conțin argint. La rândul său, procesul asupra materialelor cu halogenură de argint s-a dezvoltat și în mai multe direcții în paralel.

În primul rând, dezvoltarea fotografiei a fost facilitată de realizările a două științe - fizica și chimia. Realizările în fizică au făcut posibilă îmbunătățirea echipamentelor de filmare și a altor echipamente fotografice, de la camera obscura până la echipamente fotografice și de filmare moderne. Progresele în chimie au condus la o tranziție treptată de la plăcile de argint folosite de L. Daguerre la materiale fotografice moderne cu o gamă largă de proprietăți.

În al doilea rând, deja în etapele incipiente ale dezvoltării fotografiei, concomitent cu îmbunătățirea procesului fotografic clasic, au fost dezvoltate modificările sale tehnice. De exemplu, în cursul unui an, 1839, a fost publicată o descriere a principiului tehnic al dagherotipului, a fost inventat calotipul și s-au dezvoltat bazele tehnologiei microfilmelor, în 1900 au fost produse pentru prima dată plăci fotografice de bromogelatină ortocromatică uscată și o interferență de culoare. procesul a fost dezvoltat pe emulsii albumină-gelatină etc.

14

Orez. 3. Fotosensibilitatea materialelor fotografice în diferite stadii de dezvoltare a fotografiei

Uj S (din n. unități)

5

d

1

1839 1900

1980

Ani

Fotografia clasică a trecut prin trei etape principale de dezvoltare (Tabelul 3), fiecare dintre acestea fiind semnificativ diferită de cea anterioară și a făcut posibilă realizarea unui salt calitativ în extinderea capacităților tehnice ale fotografiei.

Prima etapă (1839-1860) a fost dezvoltarea și îmbunătățirea procesului de dagherotip.

A doua etapă (1851-1882) a fost utilizarea procedeului de colodion umed.

A treia etapă (începutul anilor 1880 - prezent) - utilizarea straturilor de gelatină uscată pe bază de halogenuri de argint.

La trecerea de la dagherotip la procesul de colodion umed, fotosensibilitatea a crescut de aproximativ 100 de ori, sensibilitatea materialelor cu halogenură de argint uscată este de 10.000 de ori mai mare decât cea a hârtiei cu albumină utilizate în procesul de colodion umed (Fig. 3). Sensibilitatea la lumină a proceselor fotografice moderne este de aproximativ 1 milion de ori mai mare decât cea a dagherotipului. Deci, să ne uităm la principalele perioade de dezvoltare ale procesului fotografic clasic.

Dagherotip

După cum am menționat mai sus, dagherotipul a primit recunoaștere oficială în 1839, dar lucrările la crearea acestui proces au început cu mai bine de 10 ani mai devreme. Autorul dagherotipului este francezul Louis Jacques Mande Daguerre, care este, fără îndoială, principalul dezvoltator al procesului. În același timp, nu este corect să păstrăm tăcerea cu privire la contribuția lui Nicéphore Niepce la dezvoltarea sa.

Tabelul 3. Principalele etape în dezvoltarea proceselor fotografice

An	Prelucrari pe materiale fotografice cu halogenura de argint	Prelucrari pe materiale fotografice non-argint
	proces foto clasic	modificări tehnice ale procesului foto clasic
	Primul stagiu	
1824		Heliografie (N. Niepce, Franța)
1835	Dagherotip (L. Daguerre, Franța)	
1839	Calotip (F. Talbot, Anglia)	Dezvoltarea tehnologiei microfilmelor (J. Danzer, Anglia)
1842		Cianotip (D. Herschel, Anglia)

1847 Plăci fotografice din sticlă pentru calotip (N. de Saint Victor, Franța) Prima cameră care folosește burduf pentru focalizare (S. L. Levitsky, Rusia)

Faza a doua

1851 Proces coloidal umed (F. Scott-Archer, Anglia)
1870 Utilizarea masivă a microfilmării (R. Dagron, Franța)
1871 Prepararea emulsiei de halogenură de argint (R. Medox, Anglia)

1873 „Descoperirea sensibilizării spectrale
I (X. Vogel, Germania)

Tabelul 3 (continuare)

An Prelucrari pe materiale fotografice cu halogenura de argint
Prelucrari pe materiale fotografice non-argint
proces foto clasicmodificări tehnice ale procesului foto clasic
1877 Studiul naturii imaginii latente și al mecanismului de dezvoltare (V. Lermantov, Rusia) Invenția unui aparat de fotografiat cu casetă cu role pentru fotografiere pe plăci de colodion cu bromură de argint (V. Malakhovsky, Rusia)
1879 Invenția unei camere stereoscopice (D. P. Ezuchevsky, Rusia) Utilizarea unui arc electric pentru expunere
nirovaniye (S. S. Levitsky, Rusia) Plăci fotografice cu bromogelatină uscată

A treia etapă

1882

1885

1889

Primul film-substrat flexibil pentru material fotografic (I.V. Boldyrev, Rusia) Invenția declanșatorului camerei „instantanee" (S.A. Yurkovsky, Rusia) Invenția de echipamente de dimensiuni mici pentru fotografierea și prelucrarea materialului fotografic în teren (I. I. Filipenko, Rusia)

Invenția unei camere pentru fotografiarea unei imagini color prin trei filtre de lumină (N. I. Kozlovsky, Rusia)

Tabelul 3 (continuare)

An Procese pentru argint halogenat]
procesul foto clasic
1891
1900 Plăci fotografice ortocromatice cu bromogelatină
1907
1912
1923
1925
1928
1929

a n-a materiale fotografice Procese pe materiale fotografice non-argintii

modificări tehnice ale procesului fotografic clasic

Obținerea unei imagini color „directe” pe un strat de halogenură de argint (G. Lippman, SUA) Procesul de interferență a culorii pe emulsii albumină-gelatină (G. Lippman; Lumiere br., Franța) Procesul de dezvoltare a culorii primare (B. Homolka, Germania) Plăci fotografice autocrome cu raster mozaic (Lumiere br.) Hârtii fotografice color „Utocolor” Proces de dezvoltare secundară a culorii (R. Fischer, Germania) Brevet pentru o cameră de microfilmare pentru fotografiere dinamică (J. McCartney, SUA) Metoda de aditiv lentilă-raster fotografie „Kodacolor” Setul foto color de „tip” Tri-pack”Diazografie (diazotip)

Tabelul 3 (continuare)

Anul	Procese pe argint halogen procesului foto clasic
1930	
1935	
1937	Materiale fotografice pancromatice cu bromogelatina
1939	
1940	-
1947	
1949	
1950	

a n-a materiale fotografice Procese pe materiale fotografice non-argintii

modificări tehnice ale procesului fotografic clasic

Primele sisteme comerciale de utilizare a microfilmelor Materiale color multistrat „Kodachrome” și „Agfacolor” Dezvoltarea tehnologiei și a aparatelor - Brevet pentru „xero-

excursii pentru a obține microfișegrafie” (C. Carlson,

(I. Goebel, Austria) SUA)

Dezvoltarea unui proces de difuzie în două etape (A. Rott, Belgia) Un nou tip de microformă - card cu deschidere (D. Langen, Franța) Proces de difuzie negativă într-o etapă (A. Land, Anglia) Echipamente pentru înregistrare și procesare difuzie Informații sisteme pe aplicație micro-industrială

xerografie de roformatare

Tabelul 3 (sfârșit)

An	Prelucrari pe materiale fotografice cu halogenura de argint Prelucrari pe materiale fotografice non-argint proces foto clasicmodificări tehnice ale procesului foto clasic
1952	Procesul Thermofax pe hârtie termosensibilă
1954	Proces electrofotografic direct „Electrofax”
1955	Dezvoltare electrofotografică lichidă
1958	Procesul vezicular (R. Notley, SUA)
1962	Implementarea principiului înregistrării fototermoplastice (W. Glenn, SUA)
1963 1967	Manifestare fizică non-argint a materialelor cu halogenură de argint Dezvoltarea primului sistem COM
1971	Procesul de migrație (W. Goff, SUA)

G974   Filme organice electrofotografice
1983   Implementare termotehnică de lansare industrială
            dezvoltat film „Silnova” (Canon, Japonia) AME N-proces

Când L. Daguerre, un artist decorativ din Paris, l-a întâlnit pe N. Niepce în 1827, acesta avea deja o anumită experiență în utilizarea unei camere obscure pentru a crea o dioramă 1. Daguerre i-a spus autorului procesului de heliografie despre încercările sale de a obține un material durabil. imagine în cameră.obscura pe un strat de pulbere de piatră bolognese (un mineral care conține sulfat de bariu $BaSO_4$). Aceste încercări au fost fără succes. Nu există informații despre faptul dacă Niépce a luat parte la această lucrare, dar se știe că în 1829 s-a încheiat un acord privind munca în comun pe o perioadă de 8 ani între cei doi cercetători. Potrivit lui Daguerre, toate eforturile de acum înainte ar fi trebuit să fie îndreptate spre obținerea de fotografii din natură, așa că a insistat că procesul de „multiplicare” - „geografia”, de care Niepce îi plăcea, ar trebui abandonat.

Această decizie importantă a dus, de fapt, la descoperirea primului proces fotografic - „dagherotip”, deoarece l-a forțat pe L. Daguerre să ia o nouă cale - să caute un material sensibil la lumină pentru a obține o imagine care să rămână neschimbată în lumina mult timp.

Succesul în căutarea unui material fotosensibil pentru a obține o imagine rezistentă la lumină a venit lui L. Daguerre în 1833, după moartea lui N. Niepce, și a fost asociat cu studiul straturilor de iodură de argint AgJ. La un moment dat, Niépce a încercat să folosească AgJ în heliografie, dar a găsit-o nepromițătoare. Următorul pas a fost utilizarea de către Daguerre a vaporilor de mercur pentru a îmbunătăți imaginea primară (adică, latentă). Rețineți că Niepce a folosit anterior fără succes vapori de mercur pentru a trata o placă de argint lustruită pentru a crește (ca urmare a formării amalgamului de mercur) albul suprafeței și în cele din urmă a crește contrastul imaginii pe un strat de lac asfaltic.

Astfel, contribuția lui N. Niepce la dezvoltarea dagherotipului ar trebui luată în considerare, în primul rând, utilizarea plăcilor placate cu argint lustruit, în al doilea rând, ideea utilizării iodului pentru a „sensibiliza” argintul și, în al treilea rând, utilizarea vaporilor de mercur pentru amalgamare. Cu toate acestea, L. Daguerre ar trebui să fie considerat în continuare autorul descoperirii ingenioase descrise: a început să lucreze cu iodură de argint, deși Niepce a negat utilitatea acesteia ca sursă de lumină.

1   Vezi cartea: Raskin N. M. Joseph Nicephore Niepce. Louis Jacques Mande Daguerre. William Henry Fox Talbot. L.: Nauka, 1967. P. 98 (Seria NBL).

mediu sensibil; a folosit vapori de mercur pentru dezvoltare și, prin urmare, a descoperit un principiu complet nou de îmbunătățire a unei imagini latente.

Procesul de dagherotip, dezvoltat în 1835, a fost după cum urmează. Un strat sensibil la lumină de iodură de argint, obținut prin aplicarea

iodului pe o placă placată cu argint, a fost expus până când a apărut o imagine abia vizibilă și a fost expus la vapori de mercur (într-un dispozitiv special unde se afla un vas încălzit cu mercur). În locurile de descompunere fotochimică mai mare sau mai mică a stratului de argint-iod (cristalin), vaporii de mercur formează o cantitate corespunzătoare de amalgam de mercur, adică apare o imagine latentă.

Cu toate acestea, imaginea, în mod natural, nu era rezistentă la lumină; trebuia să fie „fixată” (fixată), adică iodura de argint neschimbată trebuia dizolvată. În acest scop, L. Daguerre a folosit o soluție caldă concentrată de clorură de sodiu NaCl. (Abia în 1839 s-a propus utilizarea hiposulfitului de sodiu pentru fixarea imaginilor în dagherotipuri, care este folosit și astăzi ca ingredient principal al soluției de fixare).

Dacă privim „dagherotipul” fix sub un unghi ușor, astfel încât lumina, reflectată specular din zonele de umbră, să nu pătrundă în ochi, atunci imaginea va fi percepută ca pozitivă; cu o anumită modificare a rotației și razele în oglindă care intră în ochi, se va observa o imagine negativă. Deci, într-un singur dagherotip, imaginile negative și pozitive sunt combinate.

În ciuda faptului că dagherotipul a fost utilizat relativ pe scară largă, acesta avea puncte slabe. În primul rând, imaginea de suprafață a dagherotipului a fost ștearsă cu ușurință și nu transmitea bine umbrele; la fotografiere, era necesară o viteză mare a obturatorului (40-50 de minute); în plus, procesul într-un singur pas a produs o imagine în oglindă. Cu toate acestea, L. Daguerre nu a fost un om de știință, și-a epuizat oferta de idei și alți inventatori cu cunoștințe de fizică și chimie au preluat îmbunătățirea dagherotipului.

Îmbunătățirile ulterioare s-au rezumat la următoarele: pentru a crește puterea și calitatea imaginii, au început să folosească un fixator de colorare; pentru a crește fotosensibilitatea, suprafața de argint este pre-

a supraviețuit pentru a fi tratat cu vapori de iod și brom. Ca rezultat, fotosensibilitatea a crescut de 10-15 ori.

Epoca dagherotipului a fost de scurtă durată din cauza deficiențelor tehnice ale procesului, precum și a imposibilității reproducerii fotografiilor. Buna amintire a dagherotipurilor s-a păstrat în minunatele colecții de dagherotipuri din Ermit și Muzeul de Istorie, precum și din străinătate.

Strict vorbind, primul proces de înregistrare a unei imagini pe un material sensibil la lumină, numit heliografie, a fost inventat încă din 1824. A fost inventat de francezul Joseph Nicéphore Niepce, care în acel moment avea deja oarecare faimă datorită muncii sale în domeniul mecanicii.

Orez. 4. Formarea imaginii într-o camera obscura

1 - raze de lumină; 2 - gaură mică;

3 - sticlă mată sau material fotografic

Heliografia, însă, nu poate fi considerată un proces fotografic. Este vorba despre o copiere, sau mai degrabă, un proces de formare, apropiat de litografia modernă, în urma căruia nu s-a obținut o imagine fotografică, ci o imagine în relief potrivită pentru realizarea de copii pe hârtie. Ca material fotosensibil, N. Niepce a folosit un strat subțire obținut pe o piatră litografică sau o placă metalică dintr-o soluție de asfalt sirian în ulei de lavandă. El a expus stratul uscat prin metoda de contact sau într-o camera obscura timp de 2–6–7 ore, l-a scufundat într-o soluție dintr-un amestec de ulei de lavandă și ulei purificat pentru a îndepărta stratul de copiere din zonele neexpuse sau slab expuse și l-a spălat. cu apă caldă pentru a elimina solventul. După aceasta, Niépce a supus substratul la gravarea acidă prin masca rezultată până la

2 Camera obscura (camera întunecată) era cunoscută încă din secolul al XV-lea. Principiul obținerii unei imagini într-o cameră pinhole este ilustrat în Fig. 4.

cercetare în relief. Evident, heliografia a fost primul proces fotolitografic (dar nu fotografic), dar în această calitate nu a fost utilizat pe scară largă din cauza fotosensibilității scăzute a stratului de copiere.

În istoria fotografiei, numele de Niepce a intrat nu numai ca inventator al heliografiei, ci și ca persoană care a adus o anumită contribuție la dezvoltarea primului proces fotografic - dagherotip.

„Desenul fotogenic” al lui Talbot

Acest proces, numit și calotip (talboty-py), a fost inventat de englezul William Henry Fox Talbot în 1839, un an semnificativ pentru istoria fotografiei. Anterior, am împărțit condiționat dezvoltarea fotografiei în trei etape, fiecare etapă ulterioară caracterizată printr-un nivel mai ridicat de fotosensibilitate și calitate a imaginii în comparație cu cea anterioară. Pe baza acestor criterii, este dificil de spus în ce stadiu ar trebui clasificată calotipia. Faptul este că, deși semnificativ diferit în structura materialului de dagherotip, calotipul a fost semnificativ inferior în calitatea imaginii (cel puțin până în 1847). Privind în perspectivă, observăm că meritul lui Talbot în dezvoltarea fotografiei constă în principal în dezvoltarea bazelor procesului negativ-pozitiv.

În 1834, F. Talbot a început cercetările legate de obținerea unei imagini „light-painting” într-o camera obscura. El a fost primul care a folosit clorura de argint ca material fotosensibil. Clorura de argint a fost obţinută prin tratarea hârtiei impregnate cu azotat de argint cu clorură de sodiu.

Talbot a descoperit că odată cu creșterea concentrării imaginea slăbește inițial, iar cu un exces semnificativ nu apare deloc. Acest

lucru l-a condus la ideea că soluția de clorură de sodiu ar putea fi folosită ca „fixer” a imaginii.

În ianuarie 1839, într-un raport „On the Art of Photogenic Drawing” adresat Societății Regale, F. Talbot raporta: „Dacă copia este protejată de acțiunea luminii solare, atunci ea însăși poate servi ca obiect de copiere și prin mijlocul acestui al doilea proces lumina

iar umbrele sunt reproduse în poziţia lor iniţială...”[3]. Este clar că aici vorbim despre transformarea unei imagini negative într-una pozitivă folosind imprimarea prin contact - cu alte cuvinte, aceasta este descoperirea lui Talbot a bazelor procesului fotografic negativ-pozitiv, deși din punct de vedere tehnic a fost realizat mai târziu, după negativ. imaginile au început să fie produse pe un substrat transparent.

În raportul de mai sus, F. Talbot nu a raportat compușii chimici pe care i-a folosit, dar ceva mai târziu (în februarie și martie 1839) în rapoartele către Societatea Regală, a raportat toate detaliile procesului, pe care l-a numit „calotip” („talbotip”) și, de asemenea, despre obținerea hârtiei fotografice cu brom de argint mai sensibile. În 1841, Talbot a primit un brevet pentru procesul de calotip, care a constat din următoarele operațiuni:

– obținerea unui strat de clorură de argint prin imersarea succesivă a hârtiei în soluții de azotat de argint și iodură de potasiu;

- tratament după uscare într-o soluție de „galonitrat de argint” - un amestec de acid galic $(HO)_3C_6H_2COOH$ cu nitrat de argint (această metodă de sensibilizare, de fapt, a fost folosită și pentru prima dată), hârtia s-a dovedit a fi sensibilă chiar la lumina lunii;

- dezvoltarea după expunerea unei imagini invizibile, adică ascunse, cu o soluție de galonitrat de argint și fixare cu o soluție de bromură de potasiu (ulterior cu hiposulfit).

Descrierea calotipului spunea: „Imaginea calotipului este negativă, adică lumina naturală este în locul umbrei. Copiile sunt însă pozitive, corespunzătoare poziției luminii în natură.”[4] Halonitratul de argint a îndeplinit aceeași funcție ca vaporii de mercur în dagherotip, adică procesul de manifestare fizică a avut loc și aici.

Cu toate acestea, în ciuda faptului că calotipul a fost raportat tipărit cu opt ani mai devreme, autorul primului proces fotografic utilizat practic pe scară largă a fost L. Daguerre. Motivul pentru aceasta este calitatea scăzută a imaginii obținute în procesul de calotip din cauza distorsiunii și pierderii detaliului pe pozitiv la imprimarea structurii hârtiei substrat.

3 Raskin N. M. Niepce. Daguerre. Talbot. p. 176.

4 Ibid. p. 182.

Prin urmare, este firesc că au început să încerce să înlocuiască hârtia cu sticlă. Acest lucru a fost posibil abia în 1847, când Niépce de Saint-Victor (Franța) a propus albumina ca mediu pentru păstrarea unei substanțe fotosensibile pe sticlă.

Procesul de preparare a materialului fotosensibil a constat în mai multe etape: în primul rând, s-a preparat o soluție de iodură de potasiu în albușul de ou prin bate și decantare; Plăcile de sticlă au fost turnate cu această soluție și stratul a fost uscat; înainte de expunere, placa a fost scufundată într-o soluție de azotat de argint; După uscare, a fost expus și imaginea latentă a fost dezvoltată cu acid galic. Negativele au fost bune la captarea detaliilor originalului și au produs pozitive de înaltă calitate atunci când au fost tipărite, astfel încât acest proces a supraviețuit până la apariția procesului de colodion umed.

Procesul de colodion umed

Inventatorul acestui procedeu, sculptorul englez F. Scott-Archer, din 1846, dezvoltă un proces fotografic negativ, folosind o substanță organică cu formula $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(ONO_2)_x]_n$ (coloxilină) în producerea de material fotosensibil. O descriere a noului proces a apărut în 1851, după moartea lui Scott-Archer.

Procesul de colodion umed a inclus următoarele operații:

- prepararea colodionului - o soluție de coloxilină;

– introducerea în el de ioduri și bromuri (NH_4Hal; CdJ_2; NH_4Br) foarte solubile în amestecul alcool-eter;

- aplicarea acestei solutii in strat uniform pe o placa de sticla;

– uscarea stratului până se întărește (dar nu se usucă);

- sensibilizarea stratului prin scufundare într-o soluție de azotat de argint, în timp ce particule de săruri insolubile $AgBr$ și AgJ sunt eliberate în stratul apropiat de suprafață al colodionului.

Placa umedă a fost expusă, dezvoltată într-o soluție de acid pirogalic, fixată cu hiposulfit și spălată.

Negativele produse prin procedeul de colodion umed au fost caracterizate de o reproducere a detaliilor de înaltă calitate. Principalul dezavantaj al procedeului este necesitatea menținerii materialului în stare umedă înainte de expunere pentru a evita cristalizarea sărurilor și deformarea stratului. Pentru a crește conservarea plăcilor, în 1854 s-a propus introducerea unor substanțe higroscopice în stratul de colodion (de exemplu, azotat de magneziu $Mg(NO_3)_2$).

O modificare mai reușită a procesului de colodion a fost procesul uscat de colodion-albumină, dezvoltat de J. Tonino în 1855. Acest proces a fost îmbunătățit ulterior de A. Russell, care a propus plăci uscate de colodion-tanin în 1864. La prepararea plăcilor s-a turnat o soluție de azotat de argint într-o soluție de colodion care conținea bromură și s-a obținut o suspensie de $AgBr$, care s-a turnat pe plăci de sticlă, stratul rezultat s-a acoperit cu o soluție de tanin și s-a uscat.

Astfel, prin anii 80 ai secolului al XIX-lea. s-a format un proces fotografic negativ-pozitiv, care a inclus o etapă de copiere. S-a stabilit că imaginea primară (latentă) trebuie să fie formată la cea mai scurtă viteză posibilă a obturatorului, apoi, la dezvoltare, să se intensifice la vizibil.

La obținerea unei imprimări pozitive s-a folosit hârtie fotosensibilă, al cărei proces de fabricație a fost următorul. Substratul de hârtie a fost impregnat cu o soluție slabă de clorură de sodiu, uscat, apoi înainte de utilizare a fost tratat cu o soluție de azotat de argint și uscat. Imaginea vizibilă a fost obținută în timpul expunerii sub negativ, iar imaginea a fost fixată cu hiposulfit. Ulterior s-a propus acoperirea hârtiei cu un strat de albumină înainte de a detecta. Începând cu 1881, hârtia gelatină cu clorură de argint a devenit disponibilă comercial. Modificarea sa, care conține citrat de argint, a fost numită „aristotip”. S-a produs și hârtie cu clorură de argint coloidal („celoidină”). Pentru a îmbunătăți culoarea imaginii, hârtia a fost tratată cu o soluție de fixare care conține clorură de aur $AuCl$. Până în anii 1930, emulsia de colodion (nesensibilizată spectral) era disponibilă comercial pentru reproducerea raster în trei culori. Cu toate acestea, trebuie remarcat faptul că o trăsătură caracteristică a etapei de „fotografie de colodion”

„procesul fizic” nu este doar durata sa lungă, ci și faptul că îmbunătățirile materialelor de colodion par să fi dus la trecerea la straturile uscate de gelatină cu halogenură de argint.

Emulsii uscate de gelatină cu halogenură de argint

În etapele anterioare ale dezvoltării fotografiei, problema centrală a fost ocupată de problema creșterii nivelului de fotosensibilitate a materialelor fotografice. Numeroase studii ulterioare au făcut posibilă identificarea a două componente principale ale materialului fotografic: bromură de argint - un mediu fotosensibil - și gelatina - un liant. Vom vorbi nu o dată despre proprietățile unice ale halogenurilor de argint și ale gelatinei, care au făcut aceste substanțe indispensabile pentru fotografie de mai bine de 100 de ani. Aici observăm doar că „procedeul fotografic” în sensul modern al termenului s-a declarat abia după crearea primelor straturi de emulsie de gelatină uscată cu bromură de argint. De atunci, materialele fotografice, precum și metodele de producere a acestora, au fost supuse în mod repetat la îmbunătățiri, în unele cazuri de natură fundamentală, însă baza stratului fotosensibil - o dispersie de halogenură de argint în gelatină - rămâne neschimbată . Nu este nici un accident aici: adevărul este că gelatina din emulsie nu este doar un liant sau umplutură. Proprietățile sale se potrivesc în mod surprinzător cu „nevoile” de halogenuri de argint din emulsie; cu

alte cuvinte, gelatina contribuie la caracteristicile materialului fotografic.

Primele experimente privind utilizarea gelatinei ca purtător de halogenură de argint au fost efectuate în 1853 de P. Gaudin și apoi continuate în 1868 de W. Harrison. Cu toate acestea, abia după publicarea în 1871 de către medicul englez R. Medox a informațiilor despre producerea emulsiei de gelatină cu bromură de argint, s-a acordat atenția cuvenită noii metode de obținere a materialului fotografic. Conform metodei propuse de Medox, la o soluție de gelatină cu bromură de potasiu a fost adăugată o soluție de azotat de argint și suspensia de $AgBr$ rezultată a fost aplicată pe plăci, lăsată să se întărească până la un gel și uscată. Ulterior, au fost propuse o serie de îmbunătățiri ale procesului, dintre care principalele: spălarea emulsiei pt.

28

îndepărtarea sărurilor solubile (1873); obţinerea de microcristale de bromură de argint în exces de bromură (1873); introducerea gelatinei în două doze (1874); expunerea prelungită a emulsiei lichide (după spălarea gelului) la temperatură scăzută sau încălzire scurtă într-o baie de apă (1878); utilizarea amoniacului în precipitarea halogenurei de argint (1880); prepararea emulsiilor mixte de bromură de argint (1882).

În forma sa finală, la începutul anilor 1880, a fost adoptată următoarea secvență tipică de operații pentru producerea emulsiilor:

- precipitarea fazei solide printr-o reacție de dublu schimb - o sare solubilă de argint se introduce într-o soluție de gelatină care conține halogenuri în cantitate superechivalentă;

– „emulsionare”–amestecul de reacție se păstrează un timp sub formă de sol (prima etapă de maturare);

- gelificarea solului, transformându-l într-un gel;

– măcinare și spălare temeinică (până la îndepărtarea cât mai completă a sărurilor solubile);

- topirea si mentinerea la temperaturi ridicate (a doua coacere), la sfarsitul acestei etape se introduc niste aditivi care imbunatatesc udarea.

Pentru a extinde sensibilitatea spectrală, coloranții de sensibilizare sunt introduși în regiunea undelor lungi. În prezent, aceste operațiuni, precum și udarea și uscarea, sunt în mare măsură automatizate.

De-a lungul a o sută de ani de utilizare a straturilor uscate de halogenură de argint, un număr mare de materiale de film fotografice negative și pozitive directe pentru diferite scopuri au fost dezvoltate pentru procesele fotografice alb-negru și color.

2. Fotografie

pe materiale cu halogenură de argint

Informații generale

Procesul fotografic pe materiale cu halogenură de argint, atât în varianta clasică, cât și în diferitele sale modificări, constă în două etape principale: 1) obținerea unei imagini latente prin expunere; 2) întări

Orez. 5. Structura filmului cu halogenură de argint negativ (a) și pozitiv (b) alb-negru

α: 1 - strat protector; 2 - al doilea strat de emulsie; 3 - primul strat de emulsie; 4 - substratul; 5 - baza; 6 - strat anti-halo;

b; 1 - strat de emulsie; 2 - substratul; 3 - baza

Împărțirea imaginii ascunse în cea vizibilă. Imaginea latentă este obținută direct în timpul procesului de expunere. Natura imaginii latente va fi discutată mai jos; acum observăm doar că, ca rezultat al reacției de fotoliză, adică descompunerea halogenurei de argint, argintului metalic și gazului halogen se formează sub formă moleculară. Imaginea latentă conține un număr mic de atomi de argint din toți cei care sunt potențial capabili de reducere, dar această mică parte este suficientă pentru a forma o imagine vizibilă ca urmare a celei de-a doua etape - amplificarea.

Schema dată pentru obținerea unei imagini latente (foarte simplificată) este valabilă pentru toate procesele pe materiale cu halogenură de argint fără excepție. Diferențele de fotoprocese pe materialele cu halogenură de argint apar în stadiul prelucrării acestora pentru a spori imaginea latentă ca urmare a dezvoltării și fixării (fixării) imaginii dezvoltate1.

Structura filmelor cu halogenură de argint tipice utilizate în procesul clasic negativ-pozitiv este prezentată în Fig. 5. Materialele fotografice negative au o structură mai complexă, deoarece sunt folosite pentru a obține imaginea fotografică reală, iar filmele pozitive sunt folosite doar pentru copiere.

Hârtia, sticlă și filmele polimerice flexibile (triacetat de celuloză sau poliester) sunt folosite ca substraturi pentru materialele fotografice. Componenta principală a materialului fotografic este stratul fotosensibil.

1 Bazele prelucrării fotochimice a materialelor fotografice cu halogenură de argint sunt discutate în secțiunile 4 (procesul alb-negru) și 5 (procesul fotografic color).

Este o suspensie de microcristale de halogenuri de argint într-un coloid protector - gelatină sau amestecul acesteia cu alți compuși, cel

mai adesea polimeri, așa-numiții înlocuitori de gelatină. Pe lângă halogenura de argint și coloid, emulsia fotografică conține diverși aditivi care afectează proprietățile materialului fotografic, de exemplu, sensibilizatori chimici și spectrale care cresc fotosensibilitatea, respectiv, în zona de sensibilitate intrinsecă a halogenurilor de argint și în zonele spectrale suplimentare. .

În stratul de emulsie se introduc, de asemenea, stabilizatori, agenți de bronzare, plastifianți, coloranți anti-halo, substanțe antistatice și alți aditivi care îmbunătățesc caracteristicile de performanță ale emulsiei și ale materialului fotografic.

Materialul fotosensibil poate conţine unul sau mai multe straturi de emulsie, care sunt aplicate pe o parte a substratului sau pe ambele feţe, aşa cum se face, de exemplu, atunci când se produc filme cu raze X. Un strat are de obicei materiale insensibile, atât negative, cât și pozitive. Materialele negative foarte sensibile, de regulă, conțin două straturi de emulsie: unul inferior, slab sensibil și unul superior, foarte sensibil. Stratul inferior este adesea numit grund, scopul său este de a proteja stratul superior de emulsie de efectele ingredientelor substratului și substratului.

Pe lângă straturile de substrat și emulsie, materialele fotografice pot conține diverse straturi și substraturi auxiliare: adezive, anti-halo, anti-ondulare, protectoare, antistatice. Toate cele de mai sus se aplică nu numai alb-negru, ci și materialelor fotografice color, deși, așa cum va fi arătat în secțiunea 5, structura acestora din urmă este mult mai complexă.

Structura stratului de emulsie Sinteza emulsiilor

Stratul de emulsie fotosensibilă este un mediu format din particule mici de halogenură de argint distribuite într-o peliculă gelatinoasă, reținute de gelatină pe suprafața unui substrat (sticlă, polietilen tereftalat, triacetat de celuloză, hârtie etc.). Particulele au o structură cristalină și variază

în mărime, iar combinarea lor determină polidispersitatea.

Prima indicație a structurii cristaline a boabelor de emulsie a fost făcută în 1898 de către Banks și datează de la începutul introducerii în practică a emulsiilor de gelatină cu halogenură de argint, propusă pentru prima dată de R. Medox. Acest lucru a fost ulterior confirmat de numeroase studii, inclusiv microscopia electronică, și s-a demonstrat că straturile foarte sensibile conțin o fază solidă cu granulație mai grosieră. Aplicarea emulsiei pe substrat, adică numărul de microcristale pe unitate de suprafață, grosimea stratului de emulsie și conținutul de argint pe unitate de suprafață a materialului fotografic depind de dispersia granulelor de emulsie.

S-a stabilit că cu cât dimensiunea microcristalelor este mai mare, cu atât fotosensibilitatea este mai mare, în timp ce creșterea acesteia are loc până la o anumită limită, iar capacitatea de acoperire scade,

prin urmare, cu dimensiuni mai mari ale microcristalelor, depunerea emulsiei pe substrat este a crescut.

Denumirea „emulsie fotografică” este un termen tehnic convențional care a fost stabilit de la introducerea în practică a materialelor fotografice cu halogenură de argint cu gelatină uscată. În realitate, atât semifabricatul lichid cât și stratul fotografic uscat la aer sunt o suspensie de particule de halogenură de argint în cenușa sau xerogelul (gelul uscat) de gelatină. Anterior, se credea că, atunci când un strat de gelatină turnat a fost uscat, s-au obținut sisteme dispersate „solid-în-solid”, prin urmare, prin analogie cu sistemele din două substanțe lichide, straturile fotografice au început să fie numite emulsii.

Formarea fazei solide începe cu o reacție de schimb dublu

$AgNO_3 + MHal \rightarrow AgHal + MNO_3$,

în acest caz, se folosesc două metode de amestecare a soluțiilor de reacție: cu flux unic (jet unic), când o soluție de sare de argint este turnată cu viteze diferite într-o soluție apoasă de gelatină dintr-o halogenură de metal alcalin MHal și cu flux dublu (cu jet dublu), când două soluții separate de sare de argint și Mhal sunt introduse simultan în reactorul care conține o soluție de gelatină. A doua metodă este mai avansată, deoarece menține un raport echivalent de reactivi pe parcursul întregii operațiuni. Această metodă atinge un nivel ridicat

32

JOSEPH NICEFORE NIÉPCE

(1765-1833)

Nicéphore Niépce s-a născut la 7 martie 1765 la Chalon-sur-Saône (Franța) în familia unui avocat. După ce a primit studiile la colegiul iezuit din Angers, N. Niepce a descoperit devreme o înclinație pentru tehnologie și invenție. Împreună cu fratele său Claude N. Niépce, el a inventat una dintre primele versiuni ale unui motor cu ardere internă, pe care l-a numit pyraeolophore (greacă: produce incendiu), care funcționează cu combustibil gazos. N. Niepce a adus îmbunătățiri semnificative mașinii hidraulice, care au fost foarte lăudate de L. Carnot, membru al Academiei Franceze. În domeniul fotografiei, cel mai mare succes al lui N. Niepce a fost inventarea procesului de fotocopiere – heliografia. În plus, N. Nieps a fost cel care a creat primul aparat fotografic, oferind o cameră obscura cu un obiectiv. În amintirea meritelor lui N. Niepce, după moartea sa, în patria sa a fost ridicat un monument.

LOUIS JACQUES MANDE DAGUERRE

(1787-1851)

Louis Daguerre s-a născut la 18 noiembrie 1787 în satul Cormeil-en-Parisi în familia unui funcționar judiciar minor. Având abilități de desen, L. Daguerre a devenit artist decorativ și a lucrat la Opera din Paris. La 30 de ani și-a câștigat faima după îmbunătățirile aduse

dioramei (un tip de panoramă). Procesul fotografic inventat de L. Daguerre – dagherotip – a fost prima modalitate de a obține o fotografie pe un strat de halogenură de argint. La crearea acestui proces, L. Daguerre a îmbunătățit obiectivul camerei inventat de N. Niepce și a dezvoltat un proces de captare a unei imagini argintii. Pentru serviciile sale pentru dezvoltarea fotografiei, a fost distins cu Ordinul Legiunii de Onoare, apoi promovat la gradul de ofițer al acestui ordin. După moartea lui L. Daguerre, s-au ridicat memoriale în patria sa și în orașul Brie

porecle

WILLIAM HENRY FOX TALBOT (1800-1877)

Fox Talbot s-a născut la 11 februarie 1800 pe moșia bunicului său, Contele de Ilchester, în Dorsetshire (Anglia), după ce a primit o educație excelentă pentru acele vremuri, mai întâi la Trinity College, apoi la Universitatea din Harrow, F. Talbot s-a dedicat în întregime științei și a devenit membru al Societății Regale din Londra. Cercetările sale în fotografie au dus la inventarea unui nou procedeu fotografic, calotipul. Pentru a populariza acest proces, F. Talbot a publicat mai multe cărți, printre care „The Pencil of Nature” și „Sunny Pictures of Scotland”, care au trecut prin mai multe ediții. Ilustrațiile pentru cărți au fost realizate folosind metoda calotipului. F. Talbot deține o serie de descoperiri și invenții care au determinat în mare măsură direcția dezvoltării ulterioare a fotografiei. Acestea includ descoperirea imaginii fotografice ascunse, inventarea procesului negativ-pozitiv și îmbunătățirea procesului de înregistrare.

Imagine fotografică la diferite măriri

a - mărime naturală;

b – mărire ×25;

c – ×250;

g – ×2500;

d - X25 LLC

gradul de omogenitate al microcristalelor atât ca dimensiune, cât și ca formă și, ca urmare, capacitatea uniformă de a interacționa cu agenții activi în timpul maturării și prelucrării ulterioare.

Cristalizarea AgHal este o etapă inițială specială și foarte importantă în fabricarea emulsiilor, numită emulsionare, iar această etapă este cea care determină tipul de emulsie. Ca urmare a emulsionării, microcristale reale sunt obținute cu încălcări ale rețelei ideale sub formă de defecte intrinseci și de impurități. Astfel, întregul proces de formare a fazei solide a emulsiilor este cristalizarea din soluție a unui set de microcristale de AgHal cu defecte predeterminate. Rezultatul sunt emulsii cu proprietăți sensibile la structură, care determină parametrii fotografici.

Procesul de cristalizare constă din mai multe etape secvenţiale sau care apar simultan:

– acumularea ionilor Ag+ şi Hal~ până la suprasaturare, când se formează o stare metastabilă;

- nucleare;

– creșterea embrionilor și dizolvarea parțială a acestora;

– formarea microcristalelor și tăierea finală a acestora.

Toate aceste etape au loc în timpul primei maturări imediat după emulsionare. În timpul primei maturări, care este adesea numită coacere fizică, spre deosebire de a doua coacere (chimică), cele mai mici microcristale se dizolvă și cele mai mari cresc.

Microcristalele de emulsie diferă nu numai prin mărime și distribuție a mărimii, ci și prin structură și tăiere. Cristalele de forme regulate - cuburi si octaedre - se obtin in principal prin metoda emulsionarii cu jet dublu. Cristale din structuri gemene: tabulare (plate), în formă de cărbune, gemeni multipli - apar în principal în timpul emulsionării cu un singur jet, în special într-un exces de ioni de halogen. În prezent, au fost identificate mai mult de 20 de forme de microcristale în emulsie (V. Klein, 1969). Există cazuri de sinteză de microcristale sferice care nu au o macrocutare pronunțată.

Cu metoda cu un singur jet de drenare a soluțiilor, imediat după introducerea soluției de sare de argint, se formează o concentrație mare de componente care reacţionează și astfel

Z Z

Chiar și cu o amestecare amănunțită, se creează denivelări locale semnificative în condițiile de creștere ale microcristalelor individuale. Ca urmare a modificărilor condițiilor și ratelor de creștere, apar diferențe mari în dimensiunile microcristalelor și, prin urmare, o polidispersitate pronunțată și eterogenitate a structurilor microcristalelor.

Gradul de dispersie este unul dintre principalii factori de care depind proprietatile fotografice ale emulsiei. La sintetizarea emulsiilor are o importanță deosebită etapa inițială a procesului, care determină tipul de emulsie și determină gradul de dispersie și uniformitate a microcristalelor în toate etapele formării parametrilor fotografici. Caracteristică este constanța dintr-un anumit punct în raportul SJx - coeficientul de fotosensibilitate, care indică existența, în anumite limite, a proporționalității între sensibilitatea fotografică Si și aria medie de proiecție a microcristalelor x. Acest model a fost confirmat într-un studiu al influenței structurii microcristalelor asupra proprietăților fotografice ale emulsiilor (X. Friser, W. Klein, 1956).

Partea anionică a rețelei microcristaline a emulsiilor fotografice poate fi eterogenă, adică poate include ioni de diferiți halogeni. Când clorurile și bromurile co-precipită în prezența iodurii, apar relații

complexe. În cazul cristalelor mixte de AgJ(Cl), există o limită a „solubilității” clorurii în iodură. La concentrații intermediare de AgJ și AgCl, se formează două faze saturate, AgJ(Cl) și, respectiv, AgCl(J). Cocristalizarea bromurii de argint și a iodurii de argint are, de asemenea, limitări: în cristalele de smântână AgBr(J) ale sistemului cubic, concentrația limită de iodură depinde de temperatură.

De mare interes practic sunt emulsiile fotografice de tip miez-cochilie, care conțin microcristale cu un miez dintr-o compoziție de halogenură (sau miezuri fără argint) și un înveliș dintr-o altă compoziție de halogenură. În astfel de microcristale, centrele de fotosensibilitate pot fi plasate pe suprafața miezurilor de sub înveliș. Aceste sisteme fac posibilă crearea de straturi fotosensibile pozitive directe și au o serie de proprietăți originale.

Creșterea microcristalelor în timpul primei maturări se desfășoară conform mecanismului descris de binecunoscutul fizician german

Zycochemist V. Ostwald, - are loc dizolvarea particulelor mici și creșterea celor mai mari. Începutul procesului în sine nu are o graniță clară cu etapa de emulsionare; un mecanism de creștere este înlocuit treptat cu altul.

Odată cu maturarea Ostwald, există fenomenul de coalescență (aderență), când apar agregate pereche și mai mari ca urmare a contactului direct și recristalizării de contact a cristalelor separate anterior - acest lucru determină o schimbare semnificativă a dimensiunilor acestora. La emulsionare lentă are loc predominant maturarea Ostwald, în timp ce la emulsionare rapidă are loc coalescența; în cazul metodei de cristalizare cu două jeturi nu se observă coalescență.

Sarcina de a sintetiza emulsii de înaltă calitate este de a se asigura că întregul set de microcristale are aceeași viteză de maturare chimică, ceea ce pune capăt formării proprietăților fotografice ale emulsiei. Acest lucru se poate realiza prin crearea de emulsii „omogene” la prima etapă de maturare. În acest caz, omogenitatea ar trebui să se extindă la trei categorii de proprietăți: granulometrice, cristalografice și cinetice în raport cu rata de a doua coacere. Dintre acestea, omogenitatea cristalografică pare a fi cea mai importantă. Prin selectarea condițiilor adecvate de cristalizare, se realizează în primul rând omogenitatea granulometrică, urmată de omogenitatea cristalografică. Dacă există identitate de forme cristalografice și fațetare, este posibil să se obțină identitatea maturării chimice, adică omogenitatea cinetică.

Tehnicile convenționale de emulsionare cu un singur jet asigură aceste omogenități doar la o primă aproximare. Metoda cu două jeturi oferă rezultate semnificativ mai bune. Cu un conținut scăzut sau absență de substanțe care dizolvă halogenura de argint în amestecul de reacție, se formează cristale foarte mici, egal dispersate (~0,1 μm) de tăiere cubică și octaedrică (la pÁg 10,0-7,5) și cu aceeași distribuție a ionilor de iod. Cu un exces superechivalent de KBr (pAg 10,2-10,7), se formează microcristale tabulare (tri și hexagonale) cu o distribuție neuniformă a ionilor de halogen, care sunt distribuiți mai uniform, cu

cât depunerea fazei solide este mai lentă și cu atât excesul de KBr este mai mic în această etapă.

35

În practica sintetizării emulsiilor se folosesc două prime medii de maturare - fără amoniac, când se introduce o soluție de $AgNO_3$ în amestecul de reacție, sau amoniac folosind amoniac de argint $[Ag(NH_3)_2JNO_3$. În metoda fără amoniac, cristalele au o configurație predominant tabulară, astfel încât marginile lor la periferie au reactivitate crescută. În emulsiile de amoniac, zonele labile sunt aflorimentele de defecte cristaline de pe suprafața microcristalelor în vrac. Totodată, într-un mediu cu amoniac, se creează condiții pentru o creștere mai intensă a cristalelor, mai ales la începutul primei maturări, ceea ce duce la creșterea defectelor profunde față de procesul de cristalizare într-un mediu fără amoniac.

Prima maturare este de obicei întreruptă prin gelificarea emulsiei, urmată de spălarea gelului până la o anumită valoare pAg. O modalitate mai avansată de îndepărtare a produselor solubile din amestecul de reacție la sfârșitul primei maturări este separarea fazei solide prin precipitare folosind agenți tensioactivi sau copolimeri de gelatină, coagulare cu alcool, sărarea sulfatului sau centrifugare și separare.

A doua coacere (chimică) constă în faptul că emulsia, după ce a fost spălată din sărurile solubile în apă, se încălzește în prezența așa-numiților sensibilizatori chimici (compuși divalenți ai sulfului, calcogenuri, săruri de aur etc.). Această procedură determină o creștere a sensibilității fotografice fără modificări vizibile în faza solidă, adică dispersia și formele cristalului practic nu se schimbă. Cele de mai sus sunt valabile numai pentru emulsii negative cu dispersie redusă cu dimensiuni de microcristale $x > 0,15\ \mu m^2$. În cazul emulsiilor foarte dispersate ($x < 0,1\ \mu m^2$), se observă creșterea microcristalelor chiar și după îndepărtarea produselor solubile.

Cinetica celei de-a doua maturări depinde de condițiile de cristalizare; in acest stadiu, fotosensibilitatea de suprafata a microcristalului Sn creste datorita fotosensibilitatii profunde a Sr datorita adsorbtiei substantelor sensibilizante (sensibilizatori chimici) de catre microcristale de halogenuri de argint. În acest caz, se formează centre de impurități de fotosensibilitate din sulfura de argint Ag_2S. După cum va fi arătat mai jos, nivelul de fotosensibilitate și voal determină

36

în principal centrii de impurități de argint, inclusiv centrii formați ca urmare a descompunerii termice a sulfurei de argint (V. Belous, 1983).

Fotosensibilitatea emulsiei depinde și de durata celei de-a doua maturări. Dacă durata sa este excesiv de lungă, vălul crește cu sensibilitate crescândă.

Dacă al doilea timp de maturare este insuficient, creșterea fotosensibilității poate continua în timpul depozitării emulsiei și

chiar după turnarea acesteia pe substrat, adică deja în materialul fotografic.

Mecanismul formării imaginii latente

Deja în primele etape ale dezvoltării fotografiei, oamenii de știință erau conștienți de faptul că fără a studia natura imaginii latente și mecanismul formării acesteia, dezvoltarea ulterioară a procesului fotografic era imposibilă. Cu toate acestea, la studierea imaginii latente, au apărut mari dificultăți din cauza faptului că pentru o lungă perioadă de timp efectul acțiunii inițiale a luminii a fost cu adevărat „ascuns” - invizibil fie cu ochiul liber, fie cu ajutorul instrumentelor care existau la acel moment. timp. În perioada inițială a dezvoltării fotografiei, imaginea latentă a fost studiată pe baza observațiilor privind caracteristicile de manifestare și efectul anumitor procese chimice (oxidare, reducere etc.) asupra imaginii. Se credea că, în ciuda existenței diferitelor tipuri de emulsii, imaginea latentă ar trebui să fie, în principiu, aceeași.

Pe măsură ce fotografia s-a dezvoltat, au apărut diverse idei despre natura fizică a imaginii ascunse. Pe baza datelor experimentale, susținute de generalizări speculative, au fost exprimate diverse ipoteze despre acest fenomen interesant. La început, ipoteza cea mai probabilă părea să fie formarea particulelor de argint din cauza fotolizei. Această ipoteză a fost exprimată mai întâi de F. Arago (1840), iar apoi de V.V. Lermantov (1872), R. Abegg (1899) și alții.Totuși, după descoperirea marii rezistențe chimice a imaginii latente la oxidare (de exemplu , acid azotic) a apărut o ipoteză pentru separarea fotochimică a compușilor subhalogenuri de argint (Ag_2J). Deci în 1899 W. Luther și-a exprimat opinia despre existență

compuși Ag_2Hal; mai târziu A. Trivelli (1908) a subliniat formarea mai multor subhalogenuri de culori diferite. Totuși, în același an, K. Lee a obținut produse similare prin depunerea de halogenură de argint în prezența argintului coloidal, fără acțiunea luminii, ceea ce contrazice serios ipoteza argintului subhalogenură.

Drept urmare, oamenii de știință au revenit la ipoteza formării argintului liber, dar sub formă de semințe incluse în microcristal, provocând o creștere a fotosensibilității. Această idee a fost susținută de observații directe la microscop de fotoliză și dezvoltare a microcristalelor individuale în emulsie, în care au apărut ciorchini de argint localizați discret. Această direcție a fost dezvoltată de fizicienii americani R. Gurney și N. Mott, care au creat teoria electron-ion a formării imaginilor latente, cunoscută sub numele de teoria Gurney-Mott (1938). De-a lungul timpului, a devenit clar că această teorie nu putea răspunde la multe întrebări care au apărut în procesul de cercetare experimentală ulterioară.

Dezvoltarea ideilor teoretice despre mecanismul formării imaginilor latente a fost mult facilitată de munca lui K. V. Chibisov și a colegilor săi și a lui W. Mitchell și a colegilor săi, care a început la începutul anilor 1950.

Trebuie remarcat faptul că până în prezent nu există o teorie cuprinzătoare a formării unei imagini fotografice latente, deși s-au dezvoltat idei general acceptate despre principalele etape ale acestui proces.

Pentru a înțelege chiar și în cea mai generală formă a mecanismului formării imaginii latente, este necesar să înțelegem structura microcristalelor cu halogenură de argint și natura centrilor de sensibilitate ai microcristalelor. În stare solidă, toate halogenurile de argint sunt cristale ionice. Aceasta înseamnă că în locurile rețelei cristaline alternează cationii de argint Ag+ și anionii halogen Hal” (clor, brom sau iod), care sunt ținute în loc în principal de forțele electrice de atracție ale sarcinilor opuse. Rețelele de bromură și clorură de argint sunt cubice (Fig. 6), în care fiecare ion de argint este înconjurat de șase atomi de halogen și, invers, fiecare ion de halogen este înconjurat de șase ioni de argint. Rețeaua de iodură de argint este mai complexă și devine cubică numai la temperaturi peste 1460C. Asemenea temperaturi nu sunt

la i

spre a

O/ •z   O Ag 0 Br

Orez. 6. Diagrama rețelei cubice de clorură de argint și bromură de argint

1 - ioni Ag +; 2 - Ioni Br"* și Cl-

Orez. 7. Diagrama unei rețele de bromură de argint cu bromură de potasiu adsorbită pe fețele cubice

LA

Odd ®Br   ND3

Orez. 8. Diagrama fețelor bromurii de argint

a - suprafața cristalină a ionilor Ag÷ cu ioni Br- adsorbiți; b - suprafata cristalina a ionilor Br cu ioni Ag + adsorbiti

tipic pentru condiţiile reale în care se află materialul fotografic.

Una dintre fețele rețelei cristaline AgBr este prezentată în Fig. 7. De fapt, suprafețele microcristalelor în emulsie sunt formate diferit: microcristalele au formă octaedrică, deci deasupra lor

Este format din ioni identici - argint sau halogen. Este ușor de imaginat o astfel de suprafață dacă în fig. 6 trageți mental planul într-un astfel de unghi încât să treacă numai prin ioni de argint sau

numai prin ionii de halogenură. În fig. Figura 8 prezintă astfel de suprafețe și tipuri posibile de adsorbție ionică.

Suprafața formată din ioni de argint absoarbe excesul de ioni de brom asociați cu ionii de potasiu. Ionii de potasiu se pot deplasa liber sau pot fi înlocuiți cu alți ioni, dar ionii de brom sunt puternic adsorbiți, astfel încât microcristalul este încărcat negativ în raport cu soluția din jur. Această stare este atinsă atunci când se formează un microcristal cu un exces de ioni de halogen (vezi Fig. 8, α). În fig. 8.6 arată schematic cum, cu un exces de ioni de argint, un microcristal absoarbe acești ioni. Astfel de microcristale sunt imediat restaurate sub influența substanțelor în curs de dezvoltare, chiar și fără expunere.

Energia rețelei microcristaline în ansamblu constă din energiile tuturor ionilor săi constitutivi, dar forțele de interacțiune dintre ionii cei mai apropiați unul de celălalt sunt de importanță practică pentru formarea unei imagini latente. Dacă rețeaua este ideală, adică succesiunea de alternanță și aranjarea reciprocă a ionilor nu este întreruptă, atunci energia rețelei este distribuită, în medie, în mod egal între ioni. Orice încălcare a rețelei înseamnă o încălcare a echilibrului de forțe pe perechi. Prin urmare, în apropierea unei perturbări numită defect al rețelei, apare întotdeauna o abatere locală a energiei de la medie spre o scădere.

Se știe că dacă în orice punct al spațiului energia potențială este mai mică decât în punctele din jur, atunci corpul în acest punct are o mare stabilitate. De exemplu, pentru ca o minge să se rostogolească într-o gaură, nu ar trebui să consume energie externă pentru aceasta, dar pentru a ieși din gaură, are nevoie de o influență externă. Evident, în partea de jos a găurii poziția mingii este mai stabilă decât la marginea găurii sau în afara acesteia.

În cristale, inclusiv halogenuri de argint, locurile cu energie potențială mai mică sunt numite puțuri potențiale, sau capcane, iar atunci când le comparăm între ele, vorbesc despre adâncimea capcanei. Sondele potențiale sunt formate din defecte ale rețelei, care pot fi punctiforme, adică afectează un ion,

sau extins, afectând mai mulți (uneori câteva zeci) de ioni. Defectele pot fi intrinseci, adică inerente microcristalelor pure din punct de vedere chimic, sau impurități, adică formate din ioni străini, atomi, molecule localizate fie în interiorul, fie pe suprafața cristalului. Indiferent de natura lor, defectele rețelei au o contribuție importantă la formarea imaginii latente (vezi mai jos).

Când este expusă la lumină, halogenura de argint suferă descompunere fotolitică, eliberând argint metalic și gaz halogen:

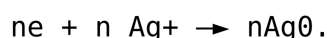
$$Ag^+Hal^- \xrightarrow{h\nu} Ag^0 + Hal^0.$$

Deoarece reacția de mai sus este fotochimică, i se aplică legea echivalenței cuantice a lui A. Einstein, conform căreia fiecare cuantă de lumină absorbită schimbă o moleculă a mediului care a absorbit-o. În acest caz, aceasta înseamnă că absorbția unui cuantum provoacă apariția unui electron liber în cristal datorită abstracției sale din ionul halogen bogat în electroni. Acest electron reduce un ion de argint. Atomii de argint formați în timpul procesului fotochimic servesc drept catalizator pentru refacerea întregului microcristal în timpul dezvoltării. În absența unui catalizator, adică în absența luminii, microcristalul nu este restaurat în timpul dezvoltării.

Deci, imaginea latentă este un grup mic de atomi de argint reducți fotochimic. Anterior, am avut ocazia să remarcăm că fotosensibilitatea unei anumite emulsii, adică a anumitor microcristale, depinde puternic de regimul primei și celei de-a doua maturări a emulsiei. În plus, știm că defectele rețelei contribuie la recuperarea argintului la expunere. Cum să conectați toate aceste fapte împreună și să construiți o schemă generală din informații disparate?

Conform teoriei Gurney-Mott, situația este următoarea. Când este iluminat, fiecare microcristal al emulsiei se comportă independent de celelalte, astfel încât apariția sau absența capacității de a se dezvolta nu este asociată cu modificări ale microcristalelor învecinate. Ca rezultat al iluminării, într-un microcristal cu halogenură de argint are loc un efect fotoelectric intern, care constă în apariția electronilor liberi. Transferul de electroni

sunt situate în interiorul microcristalului până când cad în potențiale capcane sau găuri care le pot reține pentru o perioadă de timp. Prezența unuia sau mai multor electroni conferă puțului o sarcină negativă, care, conform legii lui Coulomb, atrage ionii mobili de argint aflați în apropiere. Ca rezultat, se formează un grup de atomi de argint în jurul puțului conform următoarei reacții:



$ne + n\,Ag^{+} \rightarrow nAg^{0}$.

Grupul de atomi nAg^{0} este elementul imaginii latente, iar godeurile, care sunt suficient de adânci pentru a păstra electroni, nu sunt altceva decât centre de impurități care au apărut în timpul celei de-a doua coacere și alte defecte ale rețelei. Este necesar să adăugăm la aceasta că formarea unui atom de argint în apropierea puțului îl „adâncește”, deoarece apare un centru suplimentar de argint al impurităților. Procesul de dezvoltare a unei imagini latente se bazează pe această caracteristică.

Spunem că în timpul formării imaginii latente și în timpul dezvoltării, argintul este restaurat. Dar reducerea ca proces chimic este transferul de electroni de la agentul reducător la substanța care se reduce. Substanța de dezvoltare (agent reducător) transferă electroni către microcristalul de halogenură de argint, care încep să se miște în jurul cristalului până când sunt capturați de puț și încep să atragă ionii de argint.

Evident, același lucru se va întâmpla cu toți electronii furnizați de substanța în curs de dezvoltare ca și cu electronii „proprii” care au apărut ca urmare a efectului fotoelectric. Totuși, dacă locurile cele mai atractive pentru fotoelectroni sunt defectele microcristalelor (godeuri), atunci electronii din substanța în curs de dezvoltare cad în godeuri mai adânci formate, așa cum am spus deja, prin atomi de argint redusi. În consecință, în stadiul de dezvoltare, are loc creșterea particulelor de argint care apar în timpul expunerii, dar noi particule de argint nu se formează.

Un grup stabil de atomi de argint care apare atunci când lumina acționează asupra microcristalelor de halogenură de argint este numit centrul imaginii latente. După cum am observat deja, acest grup catalizează manifestarea. Poate că nu este suficient de mare pentru asta, dar ar trebui

să fie suficient de stabil pentru a nu se dezintegra și, în viitor, să servească drept centru pentru depunerea unui anumit număr de atomi de argint. Aceste grupuri de atomi relativ slabe (în număr mic) sunt numite subcentre ale imaginii latente. Dacă un grup de atomi aparține centrelor sau subcentrelor imaginii latente depinde nu numai de mărimea grupului, ci și de proprietățile dezvoltatorului, în principal activitatea acestuia (pentru mai multe detalii, vezi Secțiunea 4).

Un rol important în formarea unei imagini latente îl joacă așa-numiții centri de sensibilitate, adică godeurile de potențial adânci care conțin particule de impurități formate în microcristal în timpul coacerii chimice. Creșterea centrelor de sensibilitate poate fi considerată ca o creștere a adâncimii puțurilor potențiale corespunzătoare.

Distribuția centrelor de sensibilitate pe un microcristal și adâncimea găurilor care creează acești centri determină nu numai fotosensibilitatea microcristalului, ci și nivelul de voalare. Legătura dintre centrele de sensibilitate și puțurile potențiale este prezentată schematic în Fig. 9. Centrul normal de sensibilitate (7) este capabil să accepte electroni liberi numai din microcristale de halogenură de argint. În plus, poate forma subcentri (2) ale imaginii latente, care acceptă, de asemenea, electroni liberi numai din microcristal, dar nu și de la dezvoltator. Centrul mare al imaginii latente (5) acceptă electroni atât din microcristal, cât și din dezvoltator, adică este centrul dezvoltării. Centrul mare de sensibilitate (4) este în esență centrul vălului, deoarece este capabil să primească electroni de la revelator fără expunere și amplificare de către atomi de argint suplimentari.

Mecanismul formării imaginii latente conform lui Gurney-Mott poate fi reprezentat prin diagrama prezentată în Fig. 10. După absorbția unui cuantum de energie radiantă de către un ion de brom (a), se formează o gaură pozitivă și un electron liber, care, după treceri repetate de la un puț de mică adâncime la altul, se fixează într-un puț de potențial adânc de pe suprafața microcristalului. Apoi cationul mobil de argint neutralizează electronul pentru a forma un atom de argint Ag0 (b). O

gaură în mișcare iese pe suprafața microcristalului în locul unei alte sarcini negative.

ff

Orez. 9. Reprezentarea schematică a diferitelor tipuri de centre de sensibilitate și puțurile lor potențiale corespunzătoare

a - centre (zone întunecate - substanțe impurități, dungi luminoase - argint fotolitic);

b - godeuri de potențial (linia punctată arată poziția electronului în molecula substanței în curs de dezvoltare)

Orez. 10. Etapele formării atomilor unici de argint fotolitic și brom în timpul generării unei imagini latente

da, de exemplu ion de brom (c). Pe suprafața microcristalului se formează un atom de brom Br0 (a), care poate reacționa cu ionul de argint Ag+. Cu toate acestea, în materiale fotografice reale gelatina împiedică acest lucru, astfel încât imaginea argintie poate fi dezvoltată și fixată.

Sensibilizarea spectrală

Emulsiile cu halogenură de argint au două tipuri de fotosensibilitate. În primul rând, propria sa sensibilitate la lungimea de undă scurtă, adică zona albastru-albastru a părții vizibile a spectrului. În al doilea rând, fotosensibilitatea la impurități la zona undelor lungi, care, totuși, este foarte mică și practic nu afectează spectrul

sensibilitate, deci emulsia ca atare este sensibilă la albastru. Ca rezultat, în scopuri practice, a apărut sarcina de a extinde sensibilitatea spectrală la regiunile cu lungime de undă lungă ale spectrului. Începutul implementării acestei sarcini a fost pus de descoperirea de către G. Vogel în 1873 a sensibilizării optice (în terminologia modernă - spectrală). Metoda de sensibilizare spectrală presupune introducerea de coloranți în emulsie care absorb lumina în acea parte a spectrului la care materialul trebuie să fie sensibilizat. Nu orice colorant poate fi un sensibilizator spectral, deoarece în primul rând trebuie să fie bine adsorbit pe microcristal, formând ca un întreg cu el.

Mulți coloranți sensibilizanți au fost sintetizați pentru diferite părți ale spectrului. Printre coloranții sensibilizatori, derivații compușilor polimetinici ocupă un loc aparte. Moleculele unor astfel de coloranți constau din trei părți: un lanț de polimetină cu un număr impar de grupări metină (=CH-) și două grupe - donor de electroni și acceptor de electroni. Din multe astfel de grupuri, doar câteva conferă proprietăți de sensibilizare compusului, de ex.

(donator de electroni),

(atragerea de electroni).

Se folosesc o varietate de coloranți polimetinici, care sunt împărțiți în trei clase: 1) de bază (cianine); 2) acru (oxanine); 3) neutru (merocianine).

Zona de sensibilizare a coloranților depinde de lungimea lanțului și de natura grupărilor donoare de electroni și acceptoare, precum și de substituenții din lanț.

O emulsie sensibilizată conține molecule de colorant adsorbite pe suprafața microcristalelor; prin urmare, efectul final al sensibilizării ar trebui să depindă de starea fazei solide. Se notează următoarele caracteristici: în primul rând, zona de sensibilizare este determinată de absorbția spectrală a colorantului în starea adsorbită și, în al doilea rând, colorantul afectează și alte proprietăți ale emulsiei.

Coloranții pot reacționa cu ionii de argint, formând compuși complecși puțin solubili, care sunt

provocând aburirea emulsiilor. Coloranții care conțin mai mult de cinci grupe de metină au o capacitate puternică de acoperire: aceasta din urmă este asociată cu instabilitatea compușilor complecși și descompunerea lor cu eliberarea de argint.

Un aspect important al problemei sensibilizării spectrale este relația dintre aceasta din urmă cu sensibilizarea chimică, care creează o fotosensibilitate de undă lungă a impurităților. S-a stabilit că colorantul, adsorbit pe centrii activi ai suprafeței microcristalelor, poate preveni sensibilizarea chimică. Cu toate acestea, eficacitatea sensibilizării spectrale în raport cu sensibilitatea intrinsecă a halogenurei de argint este practic independentă de gradul de sensibilizare chimică. Alături de aceasta, există informații că gradul de sensibilizare de către coloranții cu merocianină depinde de tipul de sensibilizare chimică.

Mecanismul de sensibilizare spectrală nu poate fi considerat în prezent complet clarificat. S-a dovedit experimental că imaginile latente create prin acțiunea radiației albastru-violete absorbite de halogenura de argint în sine și acțiunea radiației unei părți cu lungime de undă mai mare a spectrului absorbită de colorant (sensibilizator spectral) sunt exact aceleași. Teoria Gurney-Mott explică cu ușurință acest fapt. Dacă absorbția luminii de către colorant determină eliberarea unui electron, care este apoi transferat microcristalului cu halogenură de argint, atunci totul se va întâmpla ca și cum lumina ar fi absorbită direct în microcristal. Cu toate acestea, până astăzi întrebarea nu a fost pe deplin clarificată: ce transferă colorantul sensibilizant microcristalului de halogenură de argint: un electron sau energie de excitație? Cu toate acestea, apariția electronilor liberi în halogenura de argint la absorbția luminii din acea parte a spectrului care, în absența unui colorant, nu provoacă un efect fotoelectric într-un microcristal, a fost dovedită prin experimente directe. Aceasta

înseamnă că, într-o primă aproximare, mecanismul de sensibilizare spectrală este în concordanță cu teoria Gurney-Mott.

46

3. Principalele caracteristici

proces fotografic

Deja în primele etape ale dezvoltării fotografiei, a apărut necesitatea de a oferi o evaluare calitativă a materialelor fotografice. Odată cu îmbunătățirea procesului fotografic și extinderea gamei de substanțe fotosensibile și creșterea consumului acestora, această nevoie a devenit și mai urgentă. Procesul fotografic este caracterizat folosind un număr destul de mare de parametri determinați prin tehnici standard. Acești parametri sunt împărțiți în două grupuri.

Primul grup include parametrii care caracterizează proprietățile fotografice ale emulsiei sau ale altor straturi fotosensibile, cum ar fi fotosensibilitatea, contrastul, latitudinea fotografică și formarea de ceață. Acești parametri, numiți parametri sensitometrici, sunt măsurați în timpul testării sensitometrice.

Al doilea grup constă din parametrii care caracterizează proprietățile structurale ale stratului fotosensibil, de exemplu granularea, claritatea, rezoluția și formarea haloului. Acești parametri sunt măsurați cu ajutorul testelor structurale (microsensitometrice).

Datorită faptului că baza procesului fotografic este modificarea proprietăților materialului fotografic sub influența luminii, principala sa caracteristică ar trebui considerată capacitatea de a răspunde la acțiunea luminii, adică fotosensibilitatea.

Sub influența luminii asupra stratului de emulsie, urmată de dezvoltare și fixare, în strat se creează o înnegrire fotografică permanentă. Se formează ca urmare a reducerii selective la argint metalic doar a acelor particule de halogenură de argint care au primit modificarea fotochimică necesară. Stratul de emulsie este format din particule de halogenură de argint, prin urmare stratul dezvoltat își păstrează structura granulară.

Când lumina trece prin stratul dezvoltat, agregatele de argint nu numai că ecranează fluxul de lumină, ci și îl împrăștie parțial, ceea ce provoacă în totalitate întunecarea stratului. Prin urmare, înnegrirea fotografică poate fi măsurată în două moduri:

47

prin măsurarea cantităţii de argint dezvoltat pe unitatea de suprafaţă sau prin măsurarea fotometrică a gradului de atenuare a luminii care trece prin stratul de emulsie. A doua modalitate este mai acceptabilă, deoarece este mai ușor de implementat. Metoda fotometrică a fost folosită pentru prima dată în 1878 de R. Abney; justificarea sa teoretică a fost făcută de C. Herter și J. Driffield în 1890; totuși, o soluție practică a acestei probleme datează din 1925, când la Congresul

Internațional de Fotografie de la Paris a fost recomandată o tehnică standard.

Caracteristicile sensibilometrice ale materialelor fotografice alb-negru

Termenul de sensitometrie provine din latinescul sen-Sitivus - sensibil și grecescul metreo - măsoară. Testele sensibilometrice includ următorii pași:

- expunerea materialului în aparate speciale - sensitometre, care asigură expuneri strict specificate, crescând sau descrescând conform unei anumite legi;

— dezvoltarea materialului în condiții standard;

— măsurarea densității de înnegrire a stratului sau a densității optice (O);

— reprezentarea grafică a dependenței densității optice de cantitatea de iluminare (curba caracteristică);

— determinarea valorilor caracteristicilor sensitometrice ale materialului fotografic folosind curba caracteristică.

Când sunt expuse într-un sensitometru, diferitelor secțiuni ale materialului fotografic li se oferă cantități diferite, dar cunoscute cu precizie de energie luminoasă, care variază de la secțiune la secțiune în funcție de un anumit model. De obicei, întreaga serie de expuneri este creată într-un singur ciclu de expunere, lumina trecând printr-un atenuator optic care absoarbe lumina în grade diferite, dar cunoscute cu precizie înainte de a ajunge la materialul fotografic. Un astfel de atenuator se numește pană optică. Penele optice pot fi continue sau în trepte (Fig. 11), dar în ambele cazuri, atenuarea fluxului luminos transmis este proporțională cu grosimea secțiunii corespunzătoare a panei Z, deoarece transparența secțiunilor învecinate ale panei diferă prin o cantitate constantă, numită constantă pană.

La expunere se folosesc surse de lumină cu caracteristici strict specificate, cel mai adesea lămpi cu incandescență la o anumită temperatură de culoare a filamentului. Se folosesc filtre de lumină care fie aduc lumina lămpii cât mai aproape de lumina zilei, fie au o bandă de absorbție pronunțată în zona albastră, galbenă sau roșie a spectrului. Filtrele de culoare sunt folosite numai pentru testele sensibilometrice speciale. În testele generale de sensibilitate, condițiile de expunere ar trebui să fie cât mai apropiate de cele utilizate în practică.

Indiferent de compoziția spectrală a luminii în timpul expunerii într-un sensimetru, iluminarea materialului fotografic din spatele celei mai transparente zone a panei este întotdeauna măsurată cu mare precizie. Cunoscând grosimea oricărei alte secțiuni a panei și, prin urmare, capacitatea sa de atenuare, este ușor de determinat iluminarea materialului fotografic situat sub această secțiune a panei.

Să reamintim că înnegrirea fotografică depinde de condițiile de iluminare în timpul expunerii, și în primul rând de cantitatea de iluminare R. Această dependență este exprimată prin formula H = Ig(Et)i unde E este iluminarea în planul stratului fotosensibil; t este timpul de expunere. Înnegrirea și, prin urmare, densitatea optică D a unei imagini fotografice, depinde și de condițiile de dezvoltare: compoziția revelatorului, temperatura și timpul de dezvoltare. După expunerea la un sensitometru, materialul este dezvoltat strict în condiții specificate, asigurând reproductibilitatea maximă a rezultatelor. Aceste condiții sunt diferite pentru diferite tipuri de materiale fotografice și ar trebui să fie apropiate de cele întâlnite în practică.

Ca urmare a dezvoltării, se obține o sensitogramă (Fig. 12), care este un set de zone numite câmpuri de sensitogramă care au densități optice diferite. Densitatea optică, care este măsurată într-un dispozitiv special - un densitometru (din latinescul densitas - densitate), este asociată cu înnegrirea directă a stratului fotografic, după cum urmează. Dacă un flux luminos Φ0l cade pe câmpul de sensitogramă, atunci după trecerea prin câmp acest flux, denumit Φ, este slăbit și de această înnegrire depinde atenuarea. Măsura înnegririi este densitatea optică, definită ca D = log(Φ0/Φ). De exemplu, știind că densitatea optică a unui anumit câmp de sensitogramă

Orez. 11. Pene optice

a - treptat;

b - continuu

pană

Orez. 12. Sensitograma

este egal cu 2,0, este ușor de calculat că fluxul luminos este atenuat de acest câmp de 100 de ori (log 100 = 2,0).

Rezultatele măsurării densităților tuturor câmpurilor sensitogramei sunt de obicei prezentate pe un grafic, unde logaritmul zecimal al cantității de iluminare (expunere) Ig R este reprezentat pe axa absciselor, iar densitatea optică de înnegrire D este reprezentată pe grafic. axa ordonatelor.O scară logaritmică este utilizată pentru a reduce lungimea curbei și a vizualiza creșterea densității optice cu o modificare corespunzătoare a cantității de iluminare. Graficul indicat al dependenței D = /(Ig H) se numește curbă caracteristică. De obicei, acest grafic este reprezentat grafic pe o formă sensitometrică standard (Fig. 13), care este convenabilă atât pentru construirea unei curbe sensitometrice, cât și pentru determinarea caracteristicilor unui material din aceasta. Curba caracteristică, propusă pentru prima dată în 1891 de C. Herter și J. Driffield pentru a evalua caracteristicile sensitometrice, este încă baza unei metode cantitative pentru determinarea proprietăților unui material fotografic.

În fig. Figura 14 prezintă o curbă caracteristică tipică cu patru zone desemnate: AB - inițială (zona de subexpunere), punctul A - pragul de înnegrire care mărginește densitatea optică minimă D0 (densitatea voalului); BC - rectiliniu (regiune de transmisie proporțională); CE - începerea solarizării1

1 Efectul solarizării este că la supraexpuneri foarte lungi, mult mai mult argint este redus fotolitic decât este necesar pentru a iniția dezvoltarea.

(regiune de supraexpunere), punctul superior E este densitatea optică maximă Dmax, învecinată cu solarizarea EF.

Punctul A, la care înnegrirea este detectată pentru prima dată pe strat, adică valoarea D începe să difere de valorile care se află pe secțiunea orizontală a curbei, se numește pragul de înnegrire. Până în acest punct, densitatea, deși nu este zero, este aceeași pentru toate expunerile și, prin urmare, nu este o consecință a expunerii. Această valoare este suma densității de fond Z)φ și a densității voalului Dq. Densitatea de fundal apare ca rezultat

ție. Teoretic este posibil ca tot argintul de pe suprafața microcristalului să fie restaurat, dar în practică această situație este puțin probabilă. Cu toate acestea, sunt posibile supraexpuneri mari și duc la faptul că potențialul de dezvoltare sau, după cum se spune, capacitatea de dezvoltare a microcristalului este redusă. Ca urmare, după atingerea unei anumite valori de expunere, densitatea de înnegrire scade.

absorbția luminii de către substrat, precum și de către gelatină, o parte din care rămâne pe substrat chiar și după cea mai atentă prelucrare a materialului. Densitatea voalului este determinată de cantitatea de argint recuperată în zona care nu a fost expusă. De regulă, densitatea vălului depinde de momentul celei de-a doua maturări (chimice): cu cât „supraexpunerea” este mai lungă în timpul acestei maturări, cu atât este mai mare D0. Alte motive care provoacă văl includ supradezvoltarea stratului și impactul factorilor externi (umiditate, poluare atmosferică, radiații radioactive) asupra stratului de emulsie în timpul între producerea și utilizarea acestuia.

Curba caracteristică vă permite să determinați fotosensibilitatea, contrastul, latitudinea fotografică și densitatea voalului materialului fotografic.

Pentru a găsi fotosensibilitatea S pe curba caracteristică, selectați un anumit punct corespunzător unei anumite densități, numit densitate criteriu (vezi mai jos), și lăsați o perpendiculară de la acesta pe axa absciselor. Punctul de intersecție corespunde criteriului de expunere Yakr. În sensitometrie, se obișnuiește să se exprime expunerea în lux-secunde (lx s), în ciuda faptului că lux caracterizează iluminarea numai în zona vizibilă a spectrului. Când este expus la radiații ultraviolete, infraroșii sau vizibile, iluminarea este exprimată în

unităţi de energie, de obicei jouli (J). Cu toate acestea, în sensitometria practică şi în fotografie în general, iluminarea este exprimată în lux (de unde şi denumirea dispozitivului - luxmetru), iar expunerea în lux-secunde.

Deci, pentru a găsi fotosensibilitatea este necesar să se stabilească un anumit criteriu de densitate. Valoarea sa este diferită pentru diferite sisteme sensitometrice. În prezent, sunt utilizate trei sisteme sensitometrice: DIN german (introdus în 1934), ASA american (introdus în 1947) şi GOST sovietic (adoptat în 1944). În URSS, pentru filmul alb-negru de uz general şi filmele fotografice, densitatea de criteriu Dkp este considerată a fi 0,1 ÷ D0, adică densitatea de înnegrire depăşeşte densitatea vălului cu 0,1. Pentru filmele fotografice aeriene Dкp = 0,85 ÷ D0.

După ce s-a determinat criteriul de expunere NCR din graficul D = /(Ig H), fotosensibilitatea S1 se calculează folosind formula, exprimată în URSS în unităţi. GOST. Uşoară

52

Tabelul 4. Corelaţia valorilor fotosensibilităţii în diferite sisteme

Unitate GOST	Condiţional unitati ASASl. grindină DINEUnits GOSTUSL. unitati ASASl. grindină DIN
1,4	1,3225032026
2,8	2,5540040027
5,5	5870063029
11	101180080030
22	20141400125032
32	40172800250035
65 130	80 16020 235600500038

Sensibilitatea tuturor filmelor, cu excepţia negativelor de film, este calculată cu formula S = 0,8AHkp; pentru filmele negative de film, sensibilitatea este determinată de formula S == 0,5/Hkp, pentru filmele aeriene S = 10/Ncr. Valoarea fotosensibilităţii materialului fotografic o găsim pe ambalajul filmelor fotografice. De exemplu, fotosensibilitatea filmului Photo-65 este de 65 de unităţi. GOST, „Photo-130” - de 2 ori mai mare etc.

În sistemele sensitometrice adoptate în alte ţări, calculul fotosensibilităţii este mai complex. De exemplu, sistemul DIN foloseşte formula lOlg#o/#Kp, unde H0 = 1 lx s. În sistemul ASA, punctul criteriu este determinat de cantitatea de iluminare într-un punct de pe curba caracteristică pentru care gradientul este 0,3 din gradientul mediu cu un logaritm de expunere egal cu 0,3. În acest caz, pentru a determina acest punct este necesar să se recurgă la construcţii grafice pe curba caracteristică.

Utilizarea diferitelor metode de calculare a fotosensibilităţii în diferite sisteme face dificilă trecerea de la o unitate de fotosensibilitate la altele. Prin urmare, tabelele de referinţă sunt folosite pentru a converti unităţile (Tabelul 4). În ultimii ani, ambalajul filmelor fotografice de uz general a indicat sensibilitatea la lumină în unităţile GOST, DIN şi ASA.

Un alt parametru important al unui material fotografic, determinat din curba caracteristică, este raportul de contrast, notat cu litera greacă γ. Fotografii amatori știu că raportul de contrast determină în mare măsură aplicabilitatea materialului în anumite scopuri, de exemplu, pentru portrete, reproducere etc. Pe ambalaj

hârtiile fotografice indică contrastul stratului de emulsie: moale, normal, contrast etc.

Pe curba caracteristică se determină coeficientul de contrast γ ca tangenta unghiului a formată dintr-o secțiune dreaptă a curbei caracteristice cu axa Ig I (Fig. 15). Pe lângă metoda grafică specificată, raportul de contrast poate fi calculat folosind ecuația

X   d2 ~ di

în acest caz, valorile necesare pentru a rezolva această ecuație sunt preluate direct din curba caracteristică. În scopuri practice, un calcul precis al lui γ nu este întotdeauna necesar, dar controlul vizual este suficient. Evident, cu cât unghiul a este mai mare, cu atât contrastul materialului este mai mare și, prin urmare, gama de densități optice care poate fi transmisă de acest material este mai mică.

Un alt parametru important este așa-numita latitudine fotografică, adică diferența de Ig I pentru începutul și sfârșitul unei secțiuni drepte. Pe o curbă caracteristică, secțiunea dreaptă este adesea numită regiunea de reproducere proporțională sau latitudinea fotografică L. Valoarea L pentru o anumită curbă caracteristică exprimă intervalul de expuneri (sau logaritmii acestora) pe care se realizează reproducerea proporțională, adică cea mai mare. gamă de luminanțe pe care materialul fotosensibil le poate reproduce fără a perturba proporționalitatea luminozității obiectului. Trebuie avut în vedere faptul că transferul expunerilor în imagine este echivalent cu transferul luminozității subiectului. Latitudinea fotografică se calculează după cum urmează (vezi Fig. 15): L = XgH2-Ig Hi (în unități logaritmice) sau L = H2ZHi (în unități de expunere).

În afara unei secțiuni drepte, transferul detaliilor va fi întotdeauna mai rău decât în interiorul acesteia, așa că pentru a obține o imagine bună este important să aveți material fotografic cu cea mai mare latitudine fotografică posibilă. În plus, atunci când utilizați materiale cu o latitudine mare, nu vă puteți teme de mici erori în alegerea expunerii. Latitudinea fotografică mare poate fi realizată pe materiale cu contrast moderat.

Din cele de mai sus reiese clar că curba caracteristică este în esență o formă combinată și cea mai generală de înregistrare a principalelor caracteristici sensibilometrice ale materialului fotografic de care trebuie să se țină cont la fotografiere: fotosensibilitate, contrast, latitudine fotografică, voalare.

Caracteristicile structurale ale materialelor fotografice alb-negru

Imaginea dezvoltată constă dintr-o acumulare de particule de argint metalic, deși este percepută cu ochiul liber ca fiind solidă (imaginea din insert, a). Cu o creștere de zeci de ori, neomogenitatea imaginii devine vizibilă (aceeași cifră, b, c), iar cu o creștere de aproximativ 2500 de ori, sunt vizibile particule individuale de argint (aceeași cifră, d). Eterogenitatea sau granularea imaginii depinde în mare măsură de natura substanței în curs de dezvoltare. De exemplu, metolul și diaminofenolul formează mase compacte de fibre fine, hidrochinona și derivații săi contribuie la formarea de fibre mai grosiere, dar, indiferent de structura substanței în curs de dezvoltare, particulele de argint au o structură fibroasă (aceeași figură, e).

Imaginea fotografică este formată din particule de argint și gelatină, care au indici diferiți de refracție (2,4 și, respectiv, 1,5). Această circumstanță provoacă împrăștierea luminii, care începe din momentul în care fasciculul intră în strat. Difuzarea luminii este cauzată de reflexia și difracția multiplă, adică refracția luminii, care este facilitată de o concentrație mare de microcristale de halogenură de argint. Difuzarea luminii are un efect dăunător asupra calității unei imagini fotografice deja în stadiul de expunere, deși poate fi detectată vizual doar după ce imaginea a fost dezvoltată. Faptul este că razele împrăștiate creează și o imagine latentă în microcristale cu halogenură de argint care nu sunt expuse la lumină directă. După dezvoltare, sunt dezvăluite efecte secundare, cum ar fi fantoma, deteriorarea clarității și rezoluției.

Difuzarea luminii în stratul de emulsie este nedorită în primul rând din cauza formării unui halou difuz, la care se adaugă un fenomen optic cauzat de reflexia internă totală de la suprafața inferioară.

Orez. 15. Metoda grafică pentru determinarea raportului de contrast

Orez. 16. Schema formării halourilor de împrăștiere difuză (1) și reflexie (I)

substraturi (interfață sticlă-aer). O imagine izolată a formării haloului poate fi afișată prin expunerea stratului de emulsie la un fascicul de lumină strălucitor îngust, creând o imagine punctată. În general, acest fenomen apare atunci când fotografiați obiecte cu mai multe detalii care conțin elemente luminoase. Din cele de mai sus rezultă că, după natura și originea lor, se disting două tipuri de halouri: halouri difuze și de reflexie.

În fig. Figura 16 prezintă schematic apariția unui astfel de halou complex. În acest caz, haloul de împrăștiere se formează direct la limita imaginii optice și apoi dispare la o distanță relativ scurtă, în timp ce haloul de reflexie apare la o anumită distanță, care depinde de grosimea substratului; este deosebit de clar vizibil. pe plăci fotografice.

Au fost propuse mai multe metode pentru a elimina efectele nocive ale haloului. Deci, de exemplu, unii

cu ceva timp în urmă, în emulsie a fost introdus un colorant galben, absorbind razele de împrăștiere. În prezent, se folosesc contrastraturi anti-halo, care sunt aplicate pe suprafața din spate a substratului. Contrastratul include o compoziție de trei coloranți solubili în apă, ale căror spectre de absorbție acoperă regiunea vizibilă a spectrului. La tratarea chimică a filmului, coloranții sunt îndepărtați din contrastrat. Pentru a elimina haloul de reflexie, între substrat și stratul de emulsie cu halogenură de argint se aplică un substrat dintr-o emulsie cu sensibilitate scăzută cu o concentrație scăzută de microcristale și, ca urmare, cu difuzie slabă a luminii. În plus, în substrat sau contrastrat sunt introduși coloranți anti-halo, care sunt decolorați într-un revelator alcalin.

Halourile de reflexie se observă și în hârtia fotografică; lumina care trece prin strat este reflectată difuz de substrat și trece din nou prin același strat; în plus, reflexiile secundare sunt importante. Acest fenomen poate fi eliminat prin introducerea unui colorant în emulsie, care este spălat în timpul procesării.

Există diferite metode pentru determinarea halonei; unul dintre ele este următorul: stratul fotografic este iluminat printr-o pană optică în trepte, sub care este plasată o bandă îngustă de material opac (de exemplu, staniol); pe „haloograma” rezultată se numără pragurile de înnegrire și începutul halou; raportul lor va exprima valoarea care caracterizează haloarea stratului.

Ca urmare a împrăștierii luminii, granularea imaginii se deteriorează. Este necesar să se facă distincția între granulația și granularitatea unei imagini. Granulația este un sentiment subiectiv de neomogenitate a imaginii care apare în ochiul observatorului. Granularitatea este eterogenitatea imaginii cauzată de particulele stratului de argint, care poate fi măsurată prin metode fizice.

Pentru măsurarea granularității, se pot folosi metode microdensitometrice și densitometrice, precum și cele vizuale cu mărire de proiecție.

Metodele microdensitometrice se bazează pe utilizarea dispozitivelor - microdensitometre, care fac posibilă măsurarea densității optice în zone a căror lățime este o fracțiune de milimetru, adică aproape la un punct. Aceste instrumente oferă informații despre medie

valoarea pătratică a abaterilor densității optice de la valoarea medie. Aceste abateri sunt cauzate de granularitatea stratului, astfel încât valorile eficace rezultate sunt parametrii care determină granularitatea.

Metodele densitometrice se bazează pe determinarea coeficientului Callier, adică a raportului dintre densitatea optică regulată și

difuză. Măsurarea ambelor tipuri de densități este importantă pentru fotografia practică. Să ne imaginăm că o singură rază de lumină intră în stratul fotografic. Nu doar o rază iese din strat, ci un sistem de raze împrăștiate de particule de argint în direcții diferite. În acest caz, doar o parte din raze ies în aceeași direcție cu cea incidentă (Fig. 17). Dacă măsurați doar aceste raze directe, densitatea optică a înnegririi va apărea mai mare decât este în realitate, deoarece transmisia va fi mai mică. Dacă măsurarea ia în considerare întregul flux luminos împrăștiat de strat, densitatea de înnegrire va fi mult mai apropiată de cea reală. Densitatea măsurată într-un fascicul paralel de raze directe se numește densitate optică regulată și se notează D || ; Densitatea măsurată în fluxul de lumină difuză se numește densitate optică difuză și se notează Dχ. Raportul D \\| D% se numește coeficient Callier, care crește odată cu creșterea granularității înnegririi. Desigur, este mai ușor să se realizeze un dispozitiv optic pentru măsurarea densității obișnuite, dar în scopuri practice este de dorit să se măsoare densitatea difuză. Cert este că în timpul imprimării prin contact, hârtia fotografică percepe lumina directă și împrăștiată, dar în timpul imprimării prin proiecție, obiectivul este situat la o anumită distanță de imagine, astfel încât nu poate colecta toată lumina împrăștiată prin înnegrire. În acest caz, densitatea optică efectivă este între D || și D%.

Metodele de proiecție pentru măsurarea granularității se bazează pe compararea vizuală a înnegririi extinse la aspectul unei structuri granulare cu înnegrirea inițială dezvoltată la o densitate optică de 0,5.

O altă consecință a împrăștierii luminii este deteriorarea clarității la marginile imaginii optice. Acest fenomen se numește efect de margine în fotografie. Dacă un obiect cu o margine netedă, cum ar fi o lamă de ras, este aplicat pe stratul fotosensibil și

Orez. 17. Imprăștirea luminii prin înnegrire fotografică și determinarea densităților optice regulate D || și difuze

Orez. 18. Încețoșarea imaginilor marginii briciului obținute pe o emulsie foarte sensibilă (a), sensibilă medie (b) și sensibilă scăzută (c)

expunere scurtă, linia de despărțire dintre zonele expuse și cele neexpuse va apărea ascuțită după dezvoltare. Cu toate acestea, chiar și la o mărire scăzută, structura granulată a imaginii va face această linie zimțată (Fig. 18). Pe măsură ce expunerea crește, granularea crește, prin urmare claritatea imaginii scade.

Toate celelalte lucruri fiind egale, claritatea imaginii va fi mai mică în cazul emulsiilor foarte sensibile (vezi Fig. 18). Acest fapt se explică prin faptul că emulsiile foarte sensibile, în primul rând, conțin microcristale cu dimensiuni mai puțin uniforme și, în al doilea rând, dimensiunea medie a microcristalelor din astfel de emulsii este mai mare decât cea a emulsiilor slab sensibile. Ambele motive contribuie la o mai mare împrăștiere a luminii în emulsii foarte sensibile.

Deteriorarea clarității la marginile imaginii - efectul de margine - are loc nu numai ca urmare a împrăștierii luminii, ci și ca urmare a fenomenelor de limită care apar în timpul prelucrării chimice a stratului. Faptul este că un dezvoltator proaspăt, adică nesărăcit, bogat în substanțe de dezvoltare neoxidate, difuzează în zonele care sunt puternic iluminate în timpul expunerii și îmbunătățește procesul de reducere a argintului la limita câmpurilor puternic și slab iluminate. În același timp, produsele reacției de manifestare, care inhibă procesul de recuperare, difuzează în zone slab luminate și

provoacă o întârziere a manifestării. Ca urmare, la marginea unei zone puternic iluminate are loc o scădere a lui D (efectul Kaimo), iar în alte zone are loc o creștere a densității optice D (efectul de încadrare).

Atunci când se utilizează dezvoltatori „energetici” care conțin substanțe de dezvoltare cu activitate ridicată, efectele marginilor practic nu sunt observate; dimpotrivă, la dezvoltatorii slab alcalini sau diluați apar destul de clar, mai ales la începutul dezvoltării. Cu toate acestea, efectele chimice de margine contracarează adesea neclaritatea difuză (indusă de lumină) a imaginii, adică îmbunătățesc claritatea.

Rezoluția stratului fotografic este strâns legată de claritatea imaginii, deși relația dintre acești doi parametri nu este directă. Rezoluția R se referă la capacitatea unui strat fotografic de a transmite sau „rezolva” detalii fine. R este cuantificat prin distanța dintre imaginile a două linii adiacente, care pot fi reproduse separat de strat. De obicei, rezoluția este de obicei exprimată ca reciproca acestei distanțe (în mm~1). Atunci, cu cât este mai mare numărul de linii care pot fi reproduse, adică cu cât distanța dintre linii este mai mare, cu atât rezoluția este mai mare. Cu condiția ca liniile să fie separate prin spații egale cu lățimea lor, rezoluția poate fi exprimată în funcție de numărul de linii pe milimetru.

Rezoluția este măsurată folosind metode de rezoluție (din latinescul resolve - to resolve), bazate pe fotografiarea unui obiect de testare sau a unor lumi. Lumile sunt o colecție de figuri negre de diferite dimensiuni, de obicei alternând linii și spații, schimbându-se în mod natural în frecvență și dimensiune (Fig. 19). Obiectul de testat, pe lângă elementele de linie, poate conține elemente de alte tipuri, de exemplu, puncte, linii groase etc. Dispozitivele pentru fotografiere în timpul testelor de rezoluție se numesc contoare de rezoluție.

Rezoluția depinde de mărimea granulelor (crește pe măsură ce boabele scad) și de grosimea stratului de emulsie. Dacă grosimea este excesivă, claritatea imaginii scade din cauza împrăștierii multiple a luminii; totuși, dacă stratul de emulsie este prea subțire, claritatea contururilor imaginii scade și datorită

Orez. 19. Lumi și obiecte de testare

a - linia standard a lumii;

b - lume radială; c - lumea lui Ascheulov;

g - obiect de testare linie

difuzia luminii În ambele cazuri rezoluția este redusă. Pe măsură ce expunerea crește, rezoluția scade, rezultând imagini neclare. Pe măsură ce contrastul obiectului de testat crește, rezoluția măsurată a stratului crește.

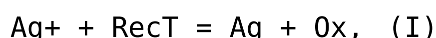
Filmele moderne și materialele fotografice conțin straturi de emulsie cu o rezoluție care variază foarte mult în funcție de scop. De exemplu, filmele de film au o rezoluție de 80-120 mm"1, filme aeriene - până la 700 mm"1, materiale fotografice pentru holografie - 1000-10000 mm^1. Caracteristicile celor mai utilizate materiale de film și fotografie sunt prezentate în tabel. Anexele I și II.

4. Vizualizarea imaginii latente

Semnificația și esența vizualizării imaginilor latente. Dezvoltare fotografică

Rezultatul direct al acțiunii luminii asupra stratului fotografic - imaginea latentă - este fundamental invizibil nu numai cu ochiul liber, ci și în orice microscop optic, deoarece dimensiunile centrelor imaginii latente (10"7 - 10). „8 cm) depășesc posibilitățile rezoluției optice a dispozitivelor. Pentru a citi informațiile înregistrate în stratul fotografic prin acțiunea luminii, este necesară vizualizarea acesteia, care se realizează în timpul procesului de dezvoltare fotografică.

Din punct de vedere tehnic, dezvoltarea fotografică este o metodă de îmbunătățire foarte puternică a rezultatelor inițiale ale acțiunii energiei radiante asupra unui strat fotografic. Pe partea chimică, manifestarea fotografică este o reacție redox, în urma căreia argintul este redus de la o stare ionică la o stare atomică, care poate fi reprezentată în general prin diagramă.


Ag+ + RecT = Ag + Ox, (I)

unde Roșu este originalul și Ox este forma oxidată a substanței în curs de dezvoltare.Imaginea rezultată este îmbunătățită în timpul acestei reacții.Gradul de îmbunătățire a rezultatelor acțiunii luminii poate fi foarte mare, ceea ce poate fi arătat prin următoarele simple calcul.

Dacă 7.cm3 este volumul unui microcristal de emulsie format dintr-o halogenură de argint cu greutate specifică d și greutate moleculară Mi, atunci numărul de ioni Ag+ din rețeaua cristalină a microcristalului va fi VdNM~ii unde N este numărul lui Avogadro (6 • 1023). Pentru ca un microcristal să devină dezvoltat, trebuie să absoarbă un foton. În timpul procesului de dezvoltare, toți ionii Ag+ ai microcristalului

sunt reduși la starea atomică. În consecință, gradul de îmbunătățire Æyc, adică numărul de atomi de Ag per foton uzat, este egal cu

χyc = VdN/ (Ma) (1)

(Kyc se mai numește și randamentul cuantic efectiv al procesului fotografic).

62

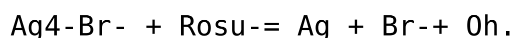
Experiența arată că, pentru ca un microcristal din straturi foarte sensibile să devină dezvoltabil, este suficientă absorbția a patru fotoni (a = 4); volumul mediu V al microcristalelor unor astfel de straturi este de aproximativ 10-12 cm3. Presupunând că microcristalul este format din AgBr (d = 6,473 g cm”3, M = 187,8), și substituind valorile indicate în formula (1), obținem Ayc - 5 • 109. Este clar că pentru microcristale de fotosensibilitate mai mică (a >4) și (sau) dimensiuni mai mici (7 < IO”12), gradul de amplificare va fi mai mic și, dimpotrivă, pentru microcristale cu fotosensibilitate mai mare (a < 4) și (sau) mai mari dimensiuni, gradul de amplificare (randament cuantic efectiv) va fi chiar mai mare. Literatura de specialitate oferă de obicei valori Ayc egale cu IO5 - 1011 pentru diferite materiale fotografice. Astfel, dacă nu s-ar cunoaște dezvoltarea fotografică, viteza obturatorului sau iluminarea la fotografiere ar trebui mărită de cel puțin milioane și miliarde de ori față de cele utilizate în prezent. În asemenea condiții, evident, fotografia și cinematografia nu ar exista.

Pentru formarea unei imagini fotografice, este foarte important ca dezvoltatorul să lucreze selectiv; în primul rând, reface argintul acelor microcristale în care există centre ale imaginii latente. Acest lucru se explică prin faptul că particulele de argint ale imaginii latente și semințele de argint care cresc în timpul procesului de dezvoltare au un efect catalitic asupra reacției redox (I). Prin urmare, zonele stratului care au primit o expunere mai mare apar mai repede decât zonele care au primit o expunere mai mică și, cu atât mai mult, decât zonele care nu au fost expuse deloc. Numai în aceste condiții este posibilă vizualizarea informațiilor înregistrate de lumină în strat.

Manifestare chimică

Se obișnuiește să se facă distincția între două tipuri de dezvoltare fotografică: chimică și fizică. Aceste nume sunt condiționate, deoarece în ambele cazuri, în timpul manifestării, au loc atât procese chimice, cât și fizice.

În timpul manifestării chimice, argintul este redus din microcristale de emulsie de halogenură de argint:


Ag4-Br- + Roșu-= Ag + Br-+ Oh.

63

În manifestarea fizică, argintul este redus la centrele de manifestare dintr-o sare de argint dizolvată (sau alt metal). În marea majoritate a

cazurilor, se utilizează manifestarea chimică, la care se referă discuțiile ulterioare.

Dezvoltatorii fotografici conțin de obicei: un agent chimic reducător (substanță de dezvoltare); o substanță care creează o reacție alcalină a unei soluții (Na_2CO_3, K_2CO_3, $Na_2B_4O_7$, NaOH etc.); o substanță care protejează revelatorul de oxidarea rapidă de către oxigenul atmosferic (de obicei Na_2SO_3); un agent anti-foliere, cel mai adesea KBr, uneori organic (de exemplu, benzotriazol); solvent (apă). Uneori se introduc în revelator unele substanțe auxiliare (agent de umectare, agent de bronzare etc.).

Substanța în curs de dezvoltare poate să nu fie un agent reducător chimic. Unii (de exemplu, Na_2SO_3) nu sunt capabili să reducă argintul în microcristale în emulsie, alții (de exemplu, o soluție alcalină de $SnCl_2$) reduc argintul în mod neselectiv, adică se dezvoltă în aceeași viteză atât în zonele expuse, cât și în cele neexpuse ale strat. În prezent, compușii organici din seria aromatică sunt utilizați în principal ca substanțe de dezvoltare.

Legătura dintre structura și capacitatea de manifestare a compușilor organici a fost stabilită pentru prima dată în anii 90 ai secolului trecut de frații A. și L. Lumière în Franța și M. Andresen în Germania, care au arătat că compușii aromatici care conțin cel puțin două „ compuşii activi” au capacitate de dezvoltare.grupe (OH sau NH_2) în poziţia orto sau para. S-a constatat că înlocuirea hidrogenului în grupa OH îi distruge activitatea; înlocuirea hidrogenului în NH_2-rpyππe cu un substituent donator de electroni îmbunătățește, iar cu un substituent atrăgător de electroni slăbește activitatea grupului; introducerea unei a treia grupe active (etc.) în moleculă sporește capacitatea de manifestare a compusului.

Kendall (Anglia) a extins aceste reguli la compușii alifatici în 1936, subliniind că toți compușii cu structura

unde a și ai sunt grupări NH_2 și OH și p == 0, 1, 2, 3. Structura substanțelor în curs de dezvoltare din seria aromatică, care conține

apăsarea a două grupe active în poziţia orto, se exprimă prin această formulă la n = 1, în poziţia para - la n = 2. La n = 0, acestea sunt peroxid de hidrogen, hidroxilamină şi hidrazină, care au şi capacitate de manifestare, la η = 1 aceşti compuşi aromatici. În 1954, Peltz a modificat formula lui Kendall:

oc—[-C=A-Jn—oc1,

unde A poate fi un atom nu numai de carbon, ci și de azot. Astfel, Peltz a extins regula lui Kendall la compușii heterociclici.

Dintre compușii alifatici și heterociclici, acizii ascorbic și oxitetranic, oxiaminopiridina, oxiaminopirimidina și mulți alții au capacitatea de a prezenta. Cu toate acestea, în prezent, derivații de oxiamină din seria aromatică sunt încă cei mai folosiți. Mai jos sunt

formulele chimice ale celor mai frecvent utilizate substanțe de dezvoltare:

EL

NH_2-HCl

NH_2-HCl

II

EL

EL

OH

LV

OH EU

EL

EL

$NHCH_3$

VI

NH_2-HCl

III

EL

H_2SO_4

2

VlI

t ⅛h5

VSH C2HaOH

$N(C_2H_5)_2$

V

OS–CH_2

nA ¿H2

G/Z

SO_3Na

Xl

El

NH_2-HCl IX

C_6H_5

X

NH-CH_2COOH

XII

1 - hidrochinonă;

II - diclorhidrat de para-fenilendiamină;

65

III - clorhidrat de para-aminofenol;

IV - pirocatecol (orto-dioxibenzen);

V —substanța de dezvoltare a culorii CPV-1 (dietil-1,4-diaminobenzensulfat);

VI - metol (sulfat de N-metil-para-aminofenol);

VII - pirogalol (1,2,3-trioxibenzen);

VIII - substanță de dezvoltare a culorii CPV-2 (sulfat de etiloxietil-1,4-diamino-benzen);

IX - amidol (diclorhidrat de 2,4-diaminofenol);

X - fenidonă (2-fenilpirazolidonă-5);

XI - eikonogen (sare de sodiu a acizilor 1-amino-2-oxinaftalen-6-sulfonici);

XII - glicina (acid para-hidroxifenilaminoacetic).

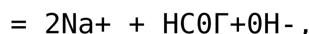
Deoarece grupa NH_2 (și derivații ei) are proprietăți bazice, compușii care conțin această grupă cristalizează și sunt utilizați de obicei sub formă de acid sulfuric sau săruri de acid clorhidric.

Dintre toți compușii dați aici, numai structura fenidonei nu satisface formulele lui Kendall și Peltz. Dar fenidona în sine este foarte slabă și este utilizată numai în amestecuri de superaditivi (vezi mai jos), în principal în combinație cu hidrochinonă.

Pentru a crea o reacție alcalină a unei soluții în curs de dezvoltare, cel mai adesea sunt utilizate săruri ale acizilor slabi și ale bazelor tari (sodă, potasiu, borax), care într-o soluție apoasă, ca urmare a

hidrolizei, dau o anumită cantitate de ioni OH-, creând un reacția alcalină a soluției (alcalii caustici NaOH și KOH sunt rar utilizate, în principal în dezvoltatorii de lucru rapid, vezi mai jos):


Na2CO3 + H2O = NaHCO3 + NaOH=


= 2Na+ + HC0Γ+0H-,


Na2B4O7 + H2O = NaHB4O7 + NaOH = '


= 2Na+ + HB4O7 + 0H~.

Gradul de alcalinitate al unei soluții se apreciază prin valoarea pH-ului. După cum se știe,

pH = - Ig [H÷], pH = - Ig [OH-], unde [H+] și [OH-] sunt concentrațiile ionilor de H+ și, respectiv, OH din soluție.” La temperatura camerei (25oC) pH + pOH ≈ 14. Prin urmare, cunoscând pH-ul, putem astfel

determinați ionii „OH”: pOH și, prin urmare, concentrația

PH	[n+], mol l-1[on-], mol l—1 Mediu
5	io-510 „9 Acid
7	10"7io-7Neutral- Naya
9	10"9io-5Alcalin
11	io-ɪɪ10"3"

66

DM

Orez. 20. Dependența densității optice a imaginii de pH pentru diverși dezvoltatori

1 - metol;

2 - pirogalol;

5 - hidrochinonă

6

Odată cu creșterea alcalinității soluției, rata de dezvoltare a oricărei substanțe în curs de dezvoltare crește, dar în grade diferite în funcție de compoziția moleculei sale. Toți hidroxibenzenii (hidrochinonă, pirocatecol etc.) sunt complet inactivi în soluții acide și neutre; se pot manifesta doar în soluții alcaline, iar capacitatea de a se manifesta crește rapid odată cu creșterea pH-ului (de exemplu, hidrochinona se manifestă numai la pH > 9,5). Substanțele ale căror molecule conțin o grupare amino activă (de exemplu, metol sau amidol) sunt capabile să se dezvolte în soluții neutre și chiar ușor acide; odată cu creșterea pH-ului, capacitatea lor de dezvoltare crește, dar încet. În fig. 20 prezintă ca exemplu curbe ale dependenţei densităţii optice D a unui strat expus normal de valoarea pH-ului a trei dezvoltatori în acelaşi timp de dezvoltare. După cum se poate observa

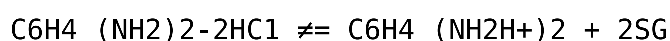
din figură, pirogalolul și hidrochinona încep să apară numai într-o soluție alcalină (la pH 8 și, respectiv, 9,5), iar metol - la pH ≤ 7.

Influența alcalinității revelatorului asupra activității sale se datorează faptului că substanțele organice de dezvoltare sunt acizi slabi (derivați hidroxi) sau baze (derivați amine), sau substanțe amfotere (derivați hidroxiamino). În soluții apoase se disociază pentru a forma ioni de hidrogen H+. De exemplu, hidrochinona, un acid dibazic, se disociază treptat:

C6H4(OH)2^⅛ C6H4OHO- + H+ ≈⅛ CβH40Γ + 2H+, (III) unde Ki și K2 sunt constantele primului și celui de-al doilea pas de disociere, Ki = 1,6 • 10-10 și K2 = 3 × 10“12 (Aceste valori indică faptul că hidrochinona este un acid foarte slab, mai slab decât acidul acetic sau acidul carbonic). În soluție alcalină

În cele din urmă, ionii H+ se leagă (H++ OH-= H2O), iar echilibrele reduse (III) se deplasează de la stânga la dreapta pe măsură ce alcalinitatea soluției crește. La pH 12, toată hidrochinona în soluție este sub formă de anioni dublu încărcați (C6H4O2~), la pH 10, aproximativ 18% din hidrochinonă este în stare C6H4Og-, aproximativ 41% sub formă de C6H4OHO- și 41% în sub formă de molecule C6H4(OH)2, la pH 8, toată hidrochinona în soluție este sub formă de molecule nedisociate. Se știe că ionii C6H4O^- au activitate mare, ionii C6H4OHO- au o activitate mult mai mică, iar moleculele C6H4(OH)2 nu prezintă deloc activitate. Astfel, este clar de ce activitatea hidrochinonei crește odată cu creșterea alcalinității.

Relații similare apar și în cazul altor substanțe în curs de dezvoltare. Astfel, derivații diamino (de exemplu, para-fenilendiamina), așa cum sa menționat deja, sunt în stare cristalină sub formă de acid clorhidric sau săruri de acid sulfuric, de exemplu C6H4(NH2)2-2HC1. Într-o soluție apoasă se disociază complet în ioni:


C6H4 (NH2)2-2HC1 ≠= C6H4 (NH2H+)2 + 2SG

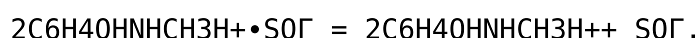
și în plus, în funcție de pH-ul soluției,


C6H4 (NH2H+)2 =≠ C6H4NH2NH2H+ + H+ ≠=

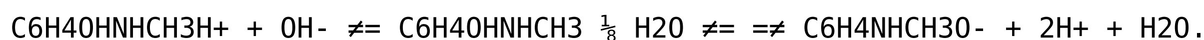

5≠ C6H4 (NH2)2 + 2H÷.

Ultimele echilibre se schimbă de la stânga la dreapta pe măsură ce pH-ul crește; Doar moleculele C6H4(NH2)2 au capacitatea de a prezenta.

Derivații de hidroxiamină (de exemplu, metol) cristalizează, de asemenea, sub formă de săruri, care, atunci când sunt dizolvate în apă, se disociază complet în ioni:


2C6H4OHNHCH3H+•SOΓ = 2C6H4OHNHCH3H++ SOΓ.

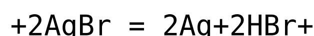
Cationii se disociază apoi, în funcție de pH-ul soluției:


C6H4OHNHCH3H+ + OH- ≠= C6H4OHNHCH3 ⅛ H2O ≠= =≠ C6H4NHCH3O- + 2H+ + H2O.

Sunt produși în principal de anionii $C_6H_4NHCH_3O^-$ și, într-o oarecare măsură, de moleculele $C_6H_4OHNHCH_3$.

68

Dezvoltarea implică nu numai dezvoltarea substanțelor, ci și a altor ingrediente ale dezvoltatorului. De exemplu, sulfitul de sodiu Na_2SO_3 nu numai că protejează substanța în curs de dezvoltare de oxidarea cu oxigenul atmosferic, dar participă direct la procesul de dezvoltare a imaginii latente. Dacă luăm hidrochinona ca substanță de dezvoltare, procesul poate fi reprezentat schematic după cum urmează:



+2AgBr = 2Ag+2HBr+

OH   O

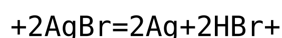
În această etapă, o moleculă de hidrochinonă reduce doi atomi de argint, oxidându-se la chinonă (dacă substanța în curs de dezvoltare este un derivat de diamină, atunci este oxidată la o diimină, iar un derivat de oxiamină la o chinonă-imină). Chinona rezultată reacționează imediat cu sulfitul, dând sarea de sodiu a unui derivat monosulfo al substanței în curs de dezvoltare (în cazul nostru, monosulfohidrochinonă):

Monosulfohidrochinona, la rândul său, este capabilă să reducă încă doi atomi de argint, oxidându-se la monosulfochinonă:

EL

EL

SO_3Na



+2AgBr=2Ag+2HBr+

Monosulfochinona reacționează cu sulfitul pentru a forma disulfohidrochinonă:

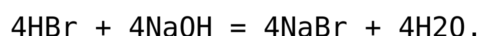
SO_3Na

+NaOH

69

Aici se termină procesul, deoarece disulfohidrochinona nu mai este capabilă să reducă AgBr la argint.

Acidul HBr format în urma acestor reacții este neutralizat de alcaliul conținut în soluție:



$4HBr + 4NaOH = 4NaBr + 4H_2O$.

Procesul general poate fi reprezentat prin următoarea ecuație stoechiometrică:

EL

EL

EL

=4Ag+4NaBr +2H20+G J

(IV)

Se poate observa că o moleculă a substanței în curs de dezvoltare în prezența sulfitului de sodiu este capabilă să reducă patru atomi de argint și că în timpul procesului de dezvoltare nu se consumă doar substanța de dezvoltare, ci și sulfit de sodiu și alcalii, iar ionii de brom liberi se acumulează. în dezvoltator (NaBr = Na+ + Br-) .

Toți acești factori duc la o scădere treptată a activității soluției de dezvoltare în timpul funcționării acesteia, ceea ce înseamnă, în practică, epuizarea dezvoltatorului. Cu toate acestea, proprietățile unui dezvoltator formulat rațional rămân neschimbate pentru o perioadă relativ lungă de funcționare, ceea ce se datorează capacității acido-baze destul de mari, precum și capacității tampon de oxidare redox 1 a dezvoltatorilor (pentru a obține unele efecte specifice, capacitatea de tampon a dezvoltatorilor este uneori redusă în mod deliberat, vezi mai jos).

1 Capacitatea unui dezvoltator de a menține o valoare constantă a pH-ului atunci când adaugă un acid sau un alcalin, precum și un agent reducător sau oxidant.

Selectivitatea dezvoltării fotografice. Acțiunea catalitică a argintului

După cum sa menționat deja, vizualizarea unei imagini latente este posibilă numai în condițiile dezvoltării selective a stratului fotografic, adică cu condiția ca viteza de dezvoltare a zonelor expuse ale stratului (viteza de dezvoltare a imaginii) să fie mai mare decât viteza de dezvoltare. a voalului. Gradul de acțiune selectivă a dezvoltatorului (selectivitatea manifestării) U este de obicei exprimat prin formulă

U = K(vi/vf),

unde K este coeficientul de proporționalitate (de obicei K = 100); vi și Vf sunt viteza de dezvoltare a imaginii (imagine) și respectiv a vălului (ceață).

Dependența densității optice (Di) a unei secțiuni a unui strat care a primit o anumită expunere de durata de dezvoltare (t) este exprimată în general prin curba prezentată în Fig. 21. După cum se poate observa din figură, există un punct de inflexiune A pe curbă; din momentul în care stratul este scufundat în revelator (t = 0) până la punctul de inflexiune, abruptul curbei, adică viteza de dezvoltare (dD/dt). crește, după acest punct scade. Durata dezvoltării - din momentul în

care stratul este scufundat în revelator până în momentul corespunzător punctului de inflexiune al curbei - se numește perioadă de inducție (t0). (În munca practică, perioada de inducție este de obicei numită interval de timp din momentul în care stratul este scufundat în revelator până când apar primele urme ale imaginii.)

Valoarea perioadei de inducție depinde de mulți factori: de rata de penetrare a revelatorului în stratul de emulsie, de expunerea primită de această secțiune a stratului (Fig. 22), de compoziția și concentrația soluției de dezvoltare, etc. Valoarea lui t0 depinde în mod semnificativ de sarcina anionului substanței în curs de dezvoltare: cu cât sarcina este mai mare, cu atât t0 este mai mare. De exemplu, hidrochinona, care are un efect de manifestare, fiind în principal sub forma unui anion dublu încărcat (Red2-), se caracterizează printr-o perioadă de inducție semnificativ mai lungă decât metol (Red-) și mai ales fenidonă (Red). Odată cu creșterea expunerii, perioada de inducție se scurtează. Introducerea de substanțe antifoliere în revelator (KBr, ben-

71

Orez. 21. Dependența densității optice a imaginii D{ de durata de dezvoltare t

Orez. 22. Dependența perioadei de inducție tQ a dezvoltării stratului de expunerea la dezvoltarea în dezvoltatori de hidrochinonă (2) și metol (2)

zotriazol etc.) duce la o creștere a i0; introducerea sărurilor cuaternare de amoniu N+R4X”, dimpotrivă, scurtează perioada de inducție a dezvoltării.

Orice factor care inhibă dezvoltarea vălului și nu afectează vizibil dezvoltarea imaginii duce la o creștere a selectivității dezvoltării. Cele mai importante în acest sens sunt substanțele antivoal (în primul rând KBr) introduse în dezvoltator. Mai jos, ca exemplu, arată efectul KBr introdus în dezvoltator asupra valorilor de selectivitate (U) de dezvoltare a filmului negativ la două temperaturi:

KVg, g/l	150G250G
o	10483
0,5	196137
1	222142
2	265160
4	254178

Aici dependența selectivității de dezvoltare este clar vizibilă nu numai de concentrația de KBr în dezvoltator, ci și de temperatura de dezvoltare: cu o creștere mai mare.

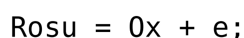
72

Pe măsură ce temperatura scade, selectivitatea dezvoltării scade. Acest lucru se explică prin faptul că coeficienții de temperatură a ai dezvoltării vălului sunt mai mari decât dezvoltarea imaginii: αy = 2÷3 și ai = 1,2÷ 1,5 (coeficientul de temperatură a arată de câte ori se

modifică viteza de dezvoltare atunci când temperatura se modifică cu 10°) . Prin urmare, pentru a obține o imagine cât mai complet fără voal, dezvoltarea se realizează la o temperatură relativ scăzută (10-15oC), dar trebuie remarcat că acest lucru crește semnificativ timpul de dezvoltare necesar.

Natura selectivă (selectivă) a dezvoltării fotografice se datorează efectului specific (de accelerare) al particulelor de argint ale imaginii latente și centrelor de dezvoltare. Acestea sunt particule ale unui catalizator heterogen. Fără a putea prezenta aici în detaliu mecanismul acțiunii catalitice a particulelor de argint, ne vom limita la următoarele informații generale.

Reacția redox în timpul dezvoltării fotografice are loc în două etape: donarea de electroni de către substanța în curs de dezvoltare către centrul de dezvoltare a argintului [oxidarea substanței în dezvoltare, însoțită de eliberarea de electroni (procesul anodic)]:


Roșu = Ox + e;

neutralizarea ionilor de argint de către electroni [reducerea ionilor de argint cu ajutorul electronilor (procesul catodic)]:


$Ag^+ + e = Ag$.

O serie de fapte indică în mod convingător faptul că centrul de dezvoltare catalizează stadiul anodic al procesului, adică stadiul donării de electroni de către substanța în curs de dezvoltare.

Cea mai probabilă imagine a procesului este următoarea. Molecule sau ioni ai substanței în curs de dezvoltare Roșu difuzează la suprafața semințeі de argint și sunt adsorbiți pe aceasta (adsorbția substanțelor în curs de dezvoltare pe argint a fost demonstrată într-o serie de studii). Aceasta este o adsorbție activată exotermă (cu eliberare de căldură), în urma căreia ionul roșu (sau molecula) suferă o restructurare a structurii moleculare și donează un electron centrului de argint. Electronii care au trecut în particula de argint – centrul manifestării – pot reduce atât ionii interstițiali Ag+ ai rețelei cristaline AgBr, cât și ionii Ag+ care au trecut în soluție ca rezultat.

73

cele de dizolvare parțială a AgBr, de exemplu conform schemelor

AgBr + 2SO |~ = Ag(SO3)I" + Br"; AgBr+Br"=AgBr¡". Care dintre aceste două procese predomină (reducerea ionilor Ag+ interstițiali sau dizolvați) depinde de compoziția soluției de dezvoltare (prezența solvenților în aceasta).

Influența condițiilor de dezvoltare asupra caracteristicilor fotografice · Bazele formulării dezvoltatorului

Pe parcursul a mai bine de un secol de fotografie, au fost propuse multe rețete pentru dezvoltatori fotografi. Aproape fiecare fotograf profesionist vechi își folosește propriii dezvoltatori, ale căror

rețete le ferește cu atenție de privirile indiscrete, deoarece, în opinia sa, acești dezvoltatori sunt cei care asigură calitatea înaltă a fotografiilor sale executate cu măiestrie. Un fotograf începător, copleșit de abundența de rețete pentru dezvoltatori, este adesea complet în pierdere și își explică eșecurile prin alegerea greșită a dezvoltatorului; cu toate acestea, după un timp devine un sceptic și susține că „toți dezvoltatorii lucrează la fel”.

Care dintre aceste opinii este corectă? Alegerea dezvoltatorului face într-adevăr toată diferența pentru rezultatele fotografice finale sau este, dimpotrivă, „toți dezvoltatorii lucrează la fel”? Așa cum se întâmplă adesea în astfel de cazuri, adevărul se află undeva între aceste două extreme.

O alegere nereușită a condițiilor de dezvoltare poate strica în mod evident rezultatele fotografiei. Dar ar fi naiv să credem că orice erori în fotografie pot fi compensate prin schimbarea condițiilor de dezvoltare; corectarea acestor erori în timpul procesului de dezvoltare este posibilă doar într-o măsură limitată. Există dezvoltatori speciali pentru dezvoltarea „subexpunerilor” și „supraexpunerilor”, pentru o mai bună elaborare a detaliilor în umbră, pentru creșterea contrastului imaginii etc. Dar capacitățile fiecăruia dintre acești dezvoltatori în direcția corespunzătoare sunt relativ mici. În general, rezultatele finale ale fotografiei sunt determinate într-o măsură mai mare de proprietățile materialului fotosensibil și de condițiile fotografice decât de condițiile de dezvoltare.

sΛ-7

Orez. 23. Dependența valorilor fotosensibilității S, raportului de contrast y și densității optice a vălului Dj de durata dezvoltării

s

(inclusiv alegerea dezvoltatorului). În același timp, trebuie avut în vedere că rezultatul fotografic optim poate fi obținut numai dacă dezvoltatorul este selectat corect pentru un anumit material fotosensibil și condiții fotografice date. Deci, de exemplu, un negativ de film filmat în mod normal ar trebui să fie dezvoltat într-un revelator cu granulație fină negativă de film, iar o reproducere a liniilor ar trebui dezvoltată într-un revelator care lucrează cu contrast etc.

Rezultatele dezvoltării depind în mare măsură atât de compoziția dezvoltatorului, cât și de modul (temperatura și durata) de dezvoltare. Deoarece coeficienții de temperatură ai dezvoltării voalului sunt mai mari decât dezvoltarea imaginii, există întotdeauna pericolul ca o dată cu creșterea temperaturii, voalarea stratului să crească excesiv. În ceea ce privește durata dezvoltării, pe măsură ce crește, valoarea fotosensibilității S și raportul de contrast γ trec printr-un maxim, iar densitatea vălului Df crește continuu (Fig. 23).

În fiecare caz individual, există un anumit timp de dezvoltare specific la care se obțin rezultate fotografice optime. Când timpul de

dezvoltare este scurt, imaginea este subdezvoltată (densități optice scăzute, raport de contrast scăzut, pierderea detaliilor în umbră); când dezvoltarea durează prea mult, imaginea este supradezvoltată (densități optice mari, voal puternic).

Dezvoltatorii cunoscuți în prezent pot fi împărțiți într-un număr mic de grupuri în funcție de compoziția, proprietățile și scopul lor. Pentru practica fotografică obișnuită, următoarele sunt cele mai importante:

grupuri de dezvoltatori:

– scop general;

– nivelare cu granulație fină;

- rapid;

- contrastante;

- contrast ridicat.

Compoziția dezvoltatorilor acestor grupuri este dată în tabel. 5 și masa. III Cereri. Compoziția soluțiilor de dezvoltare a fiecăruia dintre aceste grupuri este justificată rațional. Dezvoltatorii de uz general (pot fi numiți și „normali”) sunt utilizați pentru dezvoltarea fotografiilor expuse normal, cu contrast moderat, care nu necesită o mărire mare; Dezvoltatorii tuturor celorlalte grupuri sunt creați prin modificarea parțială a compoziției dezvoltatorilor normali.

Dezvoltatori de uz general. După cum sa arătat într-un număr de studii, concentrația optimă a substanței de dezvoltare într-un revelator care funcționează normal ar trebui să fie de ordinul a 0,05 mol/l. La această concentrație, se realizează activitatea optimă a soluției de dezvoltare și o capacitate suficientă a tamponului redox (adică, epuizarea scăzută a formei active a substanței de dezvoltare în soluție în timpul funcționării).

Concentrația optimă de sulfit de sodiu poate fi determinată luând în considerare ecuația stoechiometrică (IV), din care rezultă că se consumă două molecule de sulfit pentru o moleculă de substanță în curs de dezvoltare consumată. Aproximativ același raport dintre cantitățile consumate de substanță de dezvoltare și sulfit are loc în timpul oxidării revelatorului cu oxigenul atmosferic. Prin urmare, numărul de moli de sulfit din soluție ar trebui să fie de patru ori mai mare decât substanța în curs de dezvoltare, adică 0,05 × 4 = 0,2 mol/l.

Alegerea și concentrația componentei alcaline sunt determinate de ce grad de alcalinitate (adică, valoarea pH-ului) dorim să setăm pentru soluția de dezvoltare și ce capacitate de tampon acido-bazică ar trebui să aibă această soluție. Alcalii caustici KOH și NaOH, după cum se știe, se disociază complet în soluție (NaOH = Na+ + + OH”), iar concentrația ionilor OH”, care determină alcalinitatea soluției, este aproape egală cu concentrația de alcali dizolvat. Luând o concentrație

suficientă de alcali caustici, puteți obține o alcalinitate foarte mare a soluției (pH 12-13), dar în același timp tamponul acido-bazic.

76

Tabelul 5. Compoziția dezvoltatorilor fotografici (g/l)

Componenta Utilizare generală (pH 10-11)   Nivelare cu granulație fină (pH 8-9)   Contrast (pH 12-13)
      Ultra-contrastant (pH 9-10)   Rapid (pH 12-13)
      H-IFT-1H-ID-76Agfa-12ID-68PV-4repro-2D-8D-85ip-zmORWO 36Uil-kokaSD-27
Metol   1—228—0,25———■—5—5
Fenidon   —θ,2———0,2———————1,5—»
Hidrochinonă   5665—50.2512.53022.522.563045
sulfit de sodiu (anhidru)   26402010012510025—603037.54010090
Metasulfit de potasiu ———————12,5—2,6————
Sifon (fără)   20—25—6—————50———
Potasiu   -40   -

Sodă caustică   ——————0,651825——162540
Borax (cristal) ———2—2————————
Acid boric (cristal) —————1—   —7,512———
Bromură de potasiu   164—2.51612.5201.62.51.53.510
Benzotriazol   -
                 11
Paraformaldehida   -

Capacitatea ferică (adică stabilitatea valorii pH-ului în timpul funcționării dezvoltatorului) a unor astfel de soluții va fi mică (Fig. 24). Când se utilizează sodă, potasiu, borax, care formează ioni OH ca urmare a reacțiilor de hidroliză (II), este imposibil să se obțină valori atât de ridicate ale pH-ului ca în cazul alcalinelor caustice, dar capacitatea de tampon acido-bazică a soluțiilor va fi destul de mare (vezi Fig. 24).Experienta arata ca pentru dezvoltatorii care functioneaza normal (timpul optim de dezvoltare este de 5-8 minute), valoarea optima a pH-ului este de 10-11, ceea ce necesita 0,2-0,3 mol/l de sifon sau potasiu.

Cantitatea necesară de agent antiaburire depinde de tendința stratului fotografic de a se acoperi. Bromura de potasiu se ia de obicei în cantități de 0,004-0,04 mol/l.

Astfel, a fost stabilită următoarea compoziție a unui dezvoltator tipic universal care funcționează normal (mol/l):

Agent de dezvoltare   0,05

sulfit de sodiu 0,2

Sodă sau potasiu   0,2-0,3

Bromură de potasiu   0,004—0,04

Transformați în grame avem: 8,6 g de metol sau 5,5 g de hidrochinonă; 21-32 g sifon (anhidru) sau 57-86 g sifon (cristalin); 25 g sulfit de sodiu (anhidru) sau 50 g sulfit de sodiu (cristalin); 0,5-5 g bromură de potasiu (la 1 litru de apă).

Printre dezvoltatorii de uz general putem numi HI negativ (cunoscut și ca dezvoltator Chibisov) și FT-1, P-1 pozitiv (vezi Tabelul 5). Acești dezvoltatori au fost creați prin selecția empirică a cantităților părților constitutive, dar, după cum se poate vedea din tabel. 5, compoziția lor este apropiată de rețeta standard.

Dezvoltatorii de uz general sunt numiți și dezvoltatori universali, deoarece pot fi utilizați pentru a dezvolta orice imagine. În toate cazurile, dacă este utilizat corect, se vor obține rezultate satisfăcătoare (deși, desigur, un negativ de format mic este cel mai bine dezvoltat într-un dezvoltator de nivelare cu granulație fină și o imagine în linie sau pe jumătate de ecran într-un dezvoltator contrastant).

Este de remarcat faptul că, în mulți dezvoltatori, hidrochinona este utilizată în combinație cu metol sau fenidonă. Acest lucru se explică prin faptul că atunci când

Orez. 24. Modificarea pH-ului soluțiilor alcaline atunci când li se adaugă un acid puternic

1 — soluție de alcalii caustici NaOH sau KOH; 2 - soluție de sodă sau potasiu Na_2CO_3 sau K_2CO_3; 3 - soluție de borax $Na_2B_4O_7$

Orez. 25. Curbele caracteristice ale unui strat fotografic dezvoltate în dezvoltatori normali (J), de nivelare (2) și contrastante (3)

La dezvoltarea cu dezvoltatori amestecați de metol- sau fenidonă-hidrochinonă, se observă un efect supraaditiv al substanțelor în curs de dezvoltare, care este înțeles ca efectul creșterii ratei de dezvoltare a unui amestec de două substanțe în comparație cu suma ratelor de dezvoltare ale acestor substanțe luate. separat.

Dezvoltatorii de nivelare cu granulație fină au devenit importanți atunci când dezvoltă negative de format mic (cum ar fi negativele de film). Acești dezvoltatori (vezi Tabelul 5) se caracterizează printr-un conținut ridicat de sulfiți și o alcalinitate scăzută (pH 8-9). Efectul de nivelare al unor astfel de dezvoltatori se datorează capacității lor relativ mici de tampon acido-bazic: în timpul dezvoltării, pH-ul dezvoltatorului în stratul de emulsie în zonele puternic expuse scade mai mult și dezvoltarea este inhibată într-o măsură mai mare decât în zonele slab expuse, drept urmare, este posibil să se elaboreze bine detaliile imaginii în zonele slab expuse, fără a crește în mod nejustificat contrastul întregii imagini. O concentrație mare de Na_2SO_3 duce la dizolvarea parțială a microcristalelor în timpul procesului de dezvoltare:

AgBr + 2S0Γ≡≠Ag(S03)Γ + Br'Ag++ 28OG+VG și ionii Ag+ vin în centrul de dezvoltare prin soluție

79

(conform schemei de dezvoltare „fizică”), rezultatul căreia este o dispersie mare a argintului dezvoltat și, ca urmare, o mică granulare a imaginii.

De asemenea, au fost propuși dezvoltatori cu capacitate redusă de tampon redox, care se realizează prin reducerea concentrației substanței de dezvoltare, în special atunci când se folosesc dezvoltatori cu capacitate scăzută de tampon acid-bazic și redox; un exemplu este dezvoltatorul PV-4.

Principiul obținerii dezvoltatorilor de nivelare soft-working și a dezvoltatorilor de lucru cu contrast este ilustrat în Fig. 25. Curba 1 a acestei figuri reprezintă curba caracteristică a unui strat fotografic dezvoltat într-un revelator de uz general. Pentru a asigura dezvoltarea nivelării, este necesar, evident, să încetiniți dezvoltarea zonelor foarte expuse ale stratului („lumină”) și să nu interfereze cu dezvoltarea zonelor slab expuse („umbră”); rezultatele sunt prezentate prin curba 2. Este clar că pentru a obține o imagine de contrast (curba 5), este necesar, dimpotrivă, încetinirea manifestării „umbrelor” și intensificarea manifestării „luminilor”.

Dezvoltatorii de contrast sunt de obicei utilizați, în primul rând, la imprimarea imaginilor din negative foarte slabe și, în al doilea rând, la dezvoltarea imaginilor în linie și raster. Cerințele pentru dezvoltator și compoziția acestuia sunt diferite în aceste două cazuri; exemple tipice sunt dezvoltatorii D-8 și respectiv Repro-2 (vezi Tabelul 5).

Hidrochinona este utilizată ca substanță de dezvoltare în dezvoltatorii de contrast menționați mai sus, care se caracterizează printr-o perioadă lungă de dezvoltare a inducției (¿o), care depinde puternic de expunere (spre deosebire de amestecurile de metol și superaditivi, vezi Fig. 21). Acest lucru duce la faptul că, în anumite condiții, pentru o anumită durată de dezvoltare, o zonă puternic expusă a stratului poate fi dezvoltată aproape complet, în timp ce dezvoltarea unei zone slab expuse abia începe. Este clar că în acest caz este posibil să se obțină un raport de contrast ridicat cu o zonă relativ mică de subexpunere în curba caracteristică. Dezvoltatorii de contrast din grupul D-8, repro-2 și grupul „aprins” sunt caracterizați printr-o concentrație mare de agent anti-voal (în acest caz

80

În celălalt caz, se introduce KBr, uneori se introduce benzotriazol sau o altă substanță organică anti-foliere), ceea ce duce la inhibarea dezvoltării zonelor neexpuse și slab expuse ale stratului și, în consecință, la o creștere a contrastului imaginii. Dezvoltătorii de contrast utilizați pentru a dezvolta negative flasce sunt, de asemenea, caracterizați printr-o concentrație mare de agent de dezvoltare și utilizarea de alcalii caustici pentru a crea o soluție cu pH ridicat (12-13).

Acțiunea dezvoltatorilor cu contrast ridicat precum D-85 sau IP-ZM, care realizează așa-numita dezvoltare infecțioasă a filmelor fotografice de tip „aprins”, se bazează pe un alt principiu. Acești dezvoltatori se caracterizează printr-o concentrație foarte scăzută, dar bine tamponată de ioni SO_3~ liberi în soluție, deoarece sunt legați în principal de paraformaldehidă sub formă de bisulfit de formaldehidă. Concentrația scăzută de ioni SO^ este insuficientă pentru a lega toți anionii radicali semichinonici foarte activi (C_6H_4Or), care se formează din hidrochinonă în cantități mari în timpul dezvoltării zonelor puternic expuse ale stratului. Ca rezultat, anionii radicali C_6H_4Or au posibilitatea de a difuza la microcristalele învecinate (care au primit iluminare difuză și conțin subcentri ale imaginii latente) și de a iniția dezvoltarea lor. Astfel, zonele stratului cu expunere mare apar deosebit de rapid, rezultând un raport de contrast foarte mare ($\gamma \geq 10$).

Dezvoltatorii rapidi, ca și cei contrastați de primul fel, se caracterizează printr-o alcalinitate ridicată (pH 12-13) și o concentrație mare a substanței de dezvoltare, dar, spre deosebire de dezvoltatorii contrastanți, conțin substanțe în curs de dezvoltare cu o perioadă scurtă de dezvoltare de inducție (de obicei un amestec de supraaditivi, vezi tabelul 5). Dezvoltarea rapida se realizeaza de obicei la temperaturi ridicate (~50oC), astfel ca straturile de emulsie ale materialelor fotografice trebuie sa fie bine bronzate.

Fixarea imaginii dezvoltate

Dezvoltarea fotografică este urmată de înregistrarea imaginii dezvoltate. Constă în îndepărtarea halogenurei de argint nedezvoltate din strat prin transformarea acesteia într-un complex foarte solubil.

sare și apoi spălați-l din strat. De obicei, soluțiile de tiosulfat de sodiu $Na_2S_2O_3$ sunt folosite în aceste scopuri, dar puteți utiliza și soluții de tiosulfat KCNS, cianura de potasiu KCN, amoniac NH_4OH și chiar o soluție concentrată de clorură de sodiu NaCl sau orice altă substanță care formează un compus complex foarte solubil. cu ioni Ag^+.

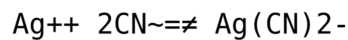
Esența fixării, adică dizolvarea halogenurei de argint, este următoarea. Microcristalele de emulsie de halogenură de argint sunt în echilibru cu partea dizolvată:

AgHal ≠t Ag^+ + Hai".   (V)

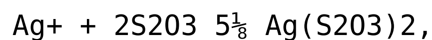
Starea de echilibru este determinată de produsul de solubilitate PR:

∏P= [Ag^+] [Hal"].

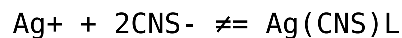
Dacă concentrația ionilor Ag^+ din soluție este redusă continuu, echilibrul (V) se va deplasa spre dreapta și halogenura de argint va intra în soluție. Efectul de dizolvare al tiosulfatului de sodiu și al altor săruri de fixare constă tocmai în scăderea concentrației ionilor Ag^+ în soluție prin legarea acestora în ioni complexi stabili conform schemelor



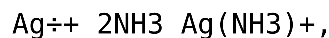
Ag++ 2CN~=≠ Ag(CN)2-



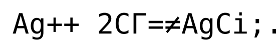
Ag+ + 2S2O3 5⅛ Ag(S2O3)2,



Ag+ + 2CNS- ≠= Ag(CNS)L



Ag÷+ 2NH3 Ag(NH3)+,

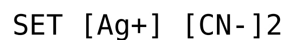


Ag++ 2CΓ=≠AgCi;.

Gradul de stabilitate a unui ion complex este estimat prin constanta sa de stabilitate Aycτ, de exemplu (la temperatura camerei):



[Ag(CN)2-]

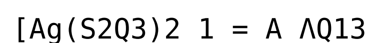


SET [Ag+] [CN-]2

I-IO23,

La

gură



[Ag(S2Q3)2 1 = A ΛQ13



[Ag÷] [S2Otj2

Evident, cu cât constanta de stabilitate ÆyCT este mai mare”, cu atât concentrația soluției de fixare este mai mică

82

halogenura de argint a stratului fotografic poate fi dizolvată. Soluțiile de cianura de potasiu sunt perfect fixate, dar este foarte toxică și, prin urmare, nu are o utilizare practică în aceste scopuri. Tiosulfatul de sodiu Na2S2O3-SH2O s-a dovedit a fi cel mai convenabil; constanta de stabilitate a ionului complex rezultat [Ag(S2O3)∏ este destul de mare, tiosulfatul este netoxic și ieftin.

Mai jos sunt compozițiile diferitelor soluții de fixare:

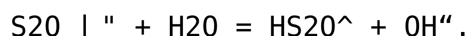
Componenta soluției	Acid simplu	
Na2S2O3-SH2O, g	200-400	250-300
Na2SO3, g	——	
K2S2Os, g	——	
NH4Gl, g	--	
CH3GOOH (80%), ml	——	
KAl(SO4)2-12H2O, g	—-	

Apă până la 1 l

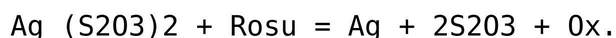
Bronzare rapidă

200	250
25	10
25	20
40	-
-	10
-	10

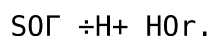
Fixanții simpli (soluții 20-40% de tiosulfat de sodiu) sunt incomozi pentru munca practică, deoarece au o reacție alcalină (pH ≈ 9) datorită hidrolizei ionului tiosulfat:


S2O | " + H2O = HS2O^ + OH“.

Cu un volum mare de lucru, materialul fotografic introduce în mod inevitabil o anumită cantitate de dezvoltator în fixator, ca urmare a dezvoltării în strat cu formarea unui văl dicroic (argint foarte dispersat):


Ag (S2O3)2 + Roșu = Ag + 2S2O3 + Ox.

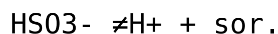
Un mediu alcalin favorizează dezvoltarea. Prin urmare, nu sunt simpli, dar fixatorii acizi sunt utilizați pe scară largă. Acidificarea soluției de fixare cu acid puternic, cum ar fi acidul sulfuric, nu este recomandată, deoarece într-un mediu puternic acid tiosulfatul se descompune ușor cu eliberarea de sulf și formarea de SO2 etc. Aciditatea optimă a soluției de fixare este pH 4 -6. Acest lucru se realizează prin faptul că, în plus față de acid (de obicei acetic), Na2SO3 este introdus în soluție, care reglează aciditatea soluției:


SOΓ ÷H+ HOr.

83

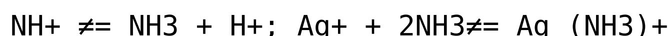
Dar, după cum se poate observa din exemplele de mai sus, fixatorii acizi pot să nu conțină deloc acid; în schimb, se adaugă metabisulfit (pirosulfit) de potasiu K2S2O5, care se dizolvă în apă pentru a forma HSO3:


K2S2O5 + H2O = 2KHSO3 ≡≠ 2K+ + 2HSO7,

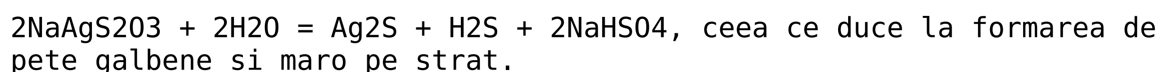

HSO3- ≠H+ + sor.

De obicei, se folosește un amestec de K2S2O5 și Na2SO3, care creează o capacitate mare de tampon acido-bazică a soluției la pH-5.

Fixatorii rapizi, de regulă, conțin NH_4Cl, al cărui mecanism de accelerare nu a fost pe deplin elucidat. Este posibil ca ionii de NHt să ia parte la formarea complexă conform schemei


$NH^+ \neq= NH_3 + H^+; Ag^+ + 2NH_3 \neq= Ag\ (NH_3)^+$

În încheierea acestei subsecțiuni, trebuie remarcat faptul că, dacă fixarea nu este suficient de lungă sau când se utilizează o soluție de fixare epuizată, în stratul de emulsie se formează o sare ușor solubilă $NaAgS_2O_3$, care se descompune ușor într-o atmosferă caldă și umedă:


$2NaAgS_2O_3 + 2H_2O = Ag_2S + H_2S + 2NaHSO_4$, ceea ce duce la formarea de pete galbene și maro pe strat.

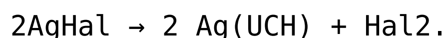
Modalități neconvenționale de a vizualiza o imagine latentă

În procesele fotografice de difuzie cu transfer de imagine, precum și în procesele pe materiale dezvoltate termic, se folosesc alte metode de imagistică (vezi Tabelul 1). Aceste procese sunt adesea numite procese fotografice „non-clasice"; Ele diferă de cele discutate în capitolele precedente nu numai prin metoda de prelucrare chimică și stratul fotografic, ci și prin materialele folosite.

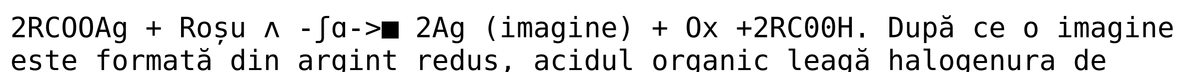
Procese pe materiale fotografice dezvoltate termic. Materialele dezvoltate termic nu necesită prelucrare chimică umedă. Vizualizarea unei imagini latente pe aceste materiale se reduce la încălzirea lor la o temperatură la care are loc un proces redox pentru a forma o imagine stabilă.

Materialele dezvoltate termic conțin un strat fotosensibil, care este un sistem complex multicomponent care include două grupe de substanțe: un strat fotosensibil, format din halogenuri de argint și un sensibilizator spectral, și unul de procesare. Grupul de procesare conține un agent de oxidare, un agent reducător, un stabilizator, precum și un acid carboxilic alifatic organic cu un număr de atomi de carbon de 9-26. Procesul redox are loc în topirea acestui sistem. Agentul de oxidare din sistem este o sare de argint nefotosensibilă a unui acid carboxilic superior, agentul reducător fiind substanțe în curs de dezvoltare: bisfenoli, bisnaftoli. Polimerii hidrofobi sunt utilizați ca lianți: acetat de polivinil, eteri de celuloză.

Mecanismul de achiziție a imaginii include două etape. În prima etapă, ca urmare a expunerii, are loc reducerea fotolitică a argintului cu formarea de centre de imagine latente (LIC), care sunt catalizatori activi:


$2AgHal \rightarrow 2\ Ag(UCH) + Hal_2$.

În a doua etapă, dezvoltarea termică a sării de argint nefotosensibile se realizează cu formarea unei imagini vizibile:


2RCOOAg + Roșu ∧ -ʃɑ->■ 2Ag (imagine) + Ox +2RC00H. După ce o imagine este formată din argint redus, acidul organic leagă halogenura de

argint într-un complex transparent, nefotosensibil, adică imaginea este capturată.

Avantajele procesului fotografic pe materialele dezvoltate termic includ procesabilitatea ridicată a prelucrării, care nu necesită etape „umede”, viteza sa mare (0,5-60 s când este încălzită la 960-990oC, respectiv), depunerea de argint redusă cu 2-3 ori (0, 4–0,8 g/m2).

Până în anii 1970, materialele fotografice dezvoltate termic nu erau utilizate pe scară largă, întrucât aveau o fotosensibilitate și rezoluție relativ scăzută și, ca urmare, erau folosite doar sub formă de hârtie fotografică, în principal fotografică. În prezent, foliile dezvoltate termic sunt folosite în procesele de imprimare foto-reproductivă,

în comunicarea fototelegrafică și microfilmare. Această ultimă zonă de aplicare pare a fi cea mai promițătoare, deoarece permite accelerarea și automatizarea semnificativă a proceselor de obținere a microformelor la ieșirea de informații de pe un computer, operarea matricelor și sistemelor de recuperare a informațiilor de înaltă performanță etc. caracteristicile filmelor dezvoltate termic, vezi tabelul. IV Aplicații.

Procese cu transfer de imagine prin difuzie. Procesul fotografic cu transfer de imagine prin difuzie, ca și cel dezvoltat termic, este un proces într-o singură etapă, deoarece prelucrarea imaginii latente pentru vizualizarea ei are loc într-o singură etapă. Esența acestui proces este că, simultan cu formarea unei imagini negative în stratul fotosensibil, substanțele care formează o imagine pozitivă difuzează din acest strat în stratul nefotosensibil - receptorul. Procesul foto de difuzie există în versiuni alb-negru și color. În general, setul foto de înregistrare pentru procesul de difuzie alb-negru include: material fotosensibil al halogenură de argint; o soluție de procesare care conține agenți de dezvoltare și complexare; materialul receptorului. Materialul receptor constă dintr-o bază, straturi auxiliare și un strat de polimer care conține particule de catalizator de manifestare fizică.

După expunerea stratului fotosensibil, toate aceste trei materiale sunt aduse în contact (Fig. 26). Argintul metalic se formează în zonele expuse ale stratului fotosensibil ca urmare a dezvoltării chimice. În zonele neexpuse, halogenura de argint se dizolvă în prezența unui agent de complexare, cum ar fi tiosulfatul de sodiu. Compușii complexi de argint difuzează în materialul receptor, unde sunt reduse în prezența unui catalizator și argintul este depus pe catalizator. Ca rezultat, în stratul fotosensibil se formează o imagine negativă, iar în stratul receptor se formează o imagine pozitivă.

Soluțiile de procesare lichide sau vâscoase sunt folosite pentru a vizualiza imaginea latentă într-un proces într-un singur pas. Soluția lichidă conține un agent de dezvoltare, tiosulfat de sodiu, alcali, un agent anti-foliere și apă și este introdusă din exterior în golul dintre straturile fotosensibile și cele receptoare.

86

Orez. 26. Schema unui proces alb-negru într-o singură etapă cu transfer de imagine de difuzie

1 - substrat sensibil la lumină

material convingător;

2 - strat de emulsie;

3 - uzină de procesare

hoţ;

4 - strat de primire; 5 - substratul materialului receptor; 6 - imagine negativă; 7 - imagine pozitivă. Săgețile indică direcția de difuzie a compușilor complexi de argint

Soluțiile de tratare vâscoase au aceeași compoziție, dar conțin agenți de îngroșare, de obicei eteri de celuloză solubili în apă, cum ar fi hidroxietilceluloza sau carboximetilceluloza de sodiu. Utilizarea soluțiilor de prelucrare vâscoasă necesită echipamente speciale și anumite tehnici de instalare pentru elementele principale ale trusei fotografice. O soluție de procesare vâscoasă inclusă într-o capsulă polimerică flexibilă este inclusă în trusa foto. După expunere, setul este tras între role, timp în care capsula este distrusă și soluția este distribuită între straturile fotosensibile și receptoare. Materialul de primire este separat de materialul fotosensibil și i se aplică o compoziție stabilizatoare, cu uscare rapidă, formând un strat protector lucios.

Procesul alb-negru într-o singură etapă a fost pus în practică în anii 1940, iar acum este utilizat pe scară largă în fotografia amator și profesională datorită capacității de a produce rapid o imprimare fotografică și a gamei largi de materiale produse (vezi tabelul V din apendicele).

Prelucrarea materialului fotografic în timpul înregistrării holografice a imaginilor

Termenul „holografie”, adică „înregistrare completă”, provine din greacă. holos - întreg, complet și grapho - scriu, desenez, desenez. Holografia face posibilă reproducerea fotografică a obiectelor în culori naturale cu iluzia completă a volumului lor și fiind aproape de observator. În holografie, fotografierea și reproducerea obiectelor

87

De la laser

Orez. 27. Schema procesului holografic în ciocnirea fasciculelor pe emulsii în strat gros

o înregistrare; b – restaurarea unei imagini tridimensionale dintr-o sursă convențională, nepulsată;

1 - val de referință;

2 - strat de emulsie;

3 - obiect, 4 - undă de semnal

Imaginile lor se bazează pe interferența luminii; în acest caz, nu numai intensitatea (ca în fotografia obișnuită), ci și faza undei luminoase este înregistrată pe materialul fotografic. Acest lucru se realizează prin faptul că, în primul rând, așa-numita undă de semnal, adică unda împrăștiată de un obiect atunci când este iradiată de un fascicul laser și, în al doilea rând, o undă de referință auxiliară direct de la același laser sunt direcționate simultan pe strat fotosensibil (Fig. 27). Când semnalul și undele de referință interacționează în stratul fotosensibil, apare un model de interferență - rezultatul suprapunerii acestor unde. În mod convențional, o astfel de imagine poate fi reprezentată sub formă de dungi albe și negre alternative care nu au limite clare. Ca rezultat al prelucrării chimico-fotografice a stratului, se formează o imagine holografică (hologramă), care este un set de dungi și pete întunecate și luminoase care se alternează în mod regulat. Pentru a observa o imagine a unui obiect, o undă luminoasă de referință de aceeași frecvență ca la primirea hologramei este trimisă către hologramă.

Teoria generală a holografiei a fost dezvoltată în 1948-1951. Fizicianul american D. Gabor, a obținut și primele holograme ale celor mai simple obiecte, dar implementarea tehnică a metodei s-a dovedit a fi foarte dificilă și abia în anii 1960, după apariția laserelor, s-a realizat posibilitatea practică de utilizare a holografiei în apar diverse domenii ale științei și tehnologiei. O contribuție semnificativă la dezvoltarea teoriei și practicii holografiei a fost adusă de fizicianul sovietic Yu. N. Denisyuk, care în 1962 a propus, în special, utilizarea straturilor foto groase. La-

Tabelul 6. Tipuri de prelucrare a materialelor fotografice pentru holografie și holograme finite

Prelucrare Conținutul și scopul prelucrării
Preliminare înainte de păstrarea materialului într-o atmosferă cu expunerea la umiditate normală Sensibilizare suplimentară (hipersensibilizare) pentru creșterea fotosensibilității
După expunere Înmuiere și întărire a stratului de emulsie
Dezvoltarea unei imagini latente Fixare (stabilizare) și spălare
Îmbunătățirea caracteristicilor holografice (reducerea contracției stratului de emulsie, creșterea uniformității de uscare) Obținerea hologramelor de fază (albită) Îndepărtarea straturilor de oglindă și emulsie
Prelucrarea hologramelor finite; Îmbunătățirea holografiei și operaționale
gramaticale ale hologramelor Corectarea erorilor de expunere in timpul holografiei si prelucrarii folosind procese de amplificare, atenuare si tonifiere

Modificarea emulsiilor fotografice în strat gros a făcut posibilă reproducerea imaginilor color ale obiectelor folosind simultan trei lasere, producând radiații în trei zone spectrale (albastru, verde și roșu), în timpul fotografierii și al reproducerii. Pentru a obține imagini holografice de înaltă calitate, este necesar să folosiți straturi fotografice cu rezoluție foarte mare (D = 1000÷ 5000 mm-1 și mai mare). Este clar că straturile cu o rezoluție atât de mare au fotosensibilitate scăzută, dar acest lucru este compensat de utilizarea unor surse de lumină puternice - lasere. Dintre materialele cu halogenură de argint, aceste condiții sunt îndeplinite (dar nu în totalitate) de filmele fotografice Mik-rat și, în special, de așa-numitele emulsii Lippmann fără granule.

Prelucrarea chimică a materialului fotografic la obținerea unei holograme depinde de tipul și metoda de expunere a acestuia (în fascicule de ciocnire, fascicule convergente) și de tipul hologramei finale. În plus, se face o distincție între prelucrarea 89

materiale fotografice pe etape: înainte de holografie, după expunere, holograme finite (Tabelul 6).

După cum puteți vedea, procesarea chimică folosită pentru obținerea hologramelor este mult mai complexă decât cea folosită în fotografia clasică pe materiale cu halogenură de argint. Acest lucru se datorează specificului procesului, în principal specificului imaginii holografice.

sunt utilizate atât caracteristici comune tuturor proceselor foto (fotosensibilitate, rezoluție , raport de contrast), cât și specifice (eficiența difracției, fotosensibilitatea holografică). Eficiența de difracție η, exprimată în procente, caracterizează raportul dintre intensitatea luminii respinse de hologramă și lumina incidentă pe hologramă. Fotosensibilitatea holografică este definită ca raportul dintre sensibilitatea la o anumită lungime de undă a radiației laser și pierderea de lumină, care depinde în principal de eficiența de difracție a materialului fotografic. Caracteristicile fotografice și holografice ale unor materiale fotografice pentru holografie sunt date în tabel. VI, VII Anexe. În practică, aceste valori se pot schimba de mai multe ori, deoarece depind de mulți factori, dintre care principalii sunt: metoda de obținere a hologramei, metoda de procesare, grosimea stratului fotosensibil etc.

Posibilitățile și perspectivele de utilizare a holografiei sunt mari. De exemplu, hologramele în strat gros realizate folosind o metodă dezvoltată în URSS fac posibilă obținerea de imagini color tridimensionale care sunt aproape imposibil de distins vizual de obiectul fotografiat. Crearea cinematografiei color volumetrice holografice este promițătoare. Se deschide astfel posibilitatea fundamentală a utilizării metodelor holografice în realizarea televiziunii color volumetrice, a dispozitivelor de stocare, căutare și reproducere a informațiilor etc.

5. Procese fotografice color

O scurtă istorie a invenției și dezvoltării fotografiei color

O persoană percepe lumea din jurul său în culoare; Imaginea din planul focal al camerei este de asemenea colorată. Desigur, încă de la începutul anilor '90

De la începutul fotografiei, s-au făcut încercări persistente de a capta culorile lumii înconjurătoare pe material fotografic sensibil la lumină. Cu toate acestea, problema fixării culorilor fotografice s-a dovedit a fi mult mai dificilă decât s-ar fi putut aștepta.

De o mare importanță pentru inventarea fotografiei color a fost crearea teoriei viziunii culorilor cu trei componente, ale cărei idei principale au fost exprimate pentru prima dată de M. V. Lomonosov în 1756. El a arătat că există doar trei culori simple. Dezvoltarea acestei teorii a urmat doar 100 de ani mai târziu, în principal în lucrările lui J. Maxwell și G. Helmholtz. În 1859-1861. Maxwell a fost primul care a demonstrat experimente de reproducere a întregii varietăți de culori prin amestecarea optică (aditivă) a trei culori primare: albastru, verde și roșu. Omul de știință a mai arătat că o imagine color poate fi, în general, obținută prin adăugarea și scăderea (analiza și sinteza) de culori, folosind trei zone spectrale principale: 400-490 (albastru), 490-570 (verde) și 570-700 (roșu) nm. În munca practică, limitele acestor zone sunt adesea rotunjite la 400-500, 500-600 și, respectiv, 600-700 nm.

Primele progrese reale în tehnologia fotografiei color au fost realizate chiar la sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea. Aici trebuie să amintim mai întâi fotografia color obținută prin interferența luminii (Lippmann, 1897), procesul raster al culorilor (plăcile „autocrome” ale lui Lumiere, lansate pentru prima dată în 1907) și câteva procese de decolorare a vopselei (de exemplu, hârtia „Utacolor” , lansat în 1912), despre mai multe metode lentile-raster etc. Unele dintre aceste procese (de exemplu, metoda lui Lippmann sau metoda autocromă a lui Lumiere) au oferit o reproducere excelentă a culorilor, nu numai că nu inferioară, ci chiar superioară culorilor de reproducere în metodele moderne de fotografie color. Dar aceste procese, complexe și costisitoare, necesitau interpreți înalt calificați, nu erau potrivite pentru cinematografie și, prin urmare, nu erau dezvoltate pe scară largă.

Procesul fotografic color pe materiale multistrat, care este în prezent comercializat și utilizat pe scară largă, nu prezintă aceste dezavantaje. Baza acestui proces este metoda de dezvoltare a culorii. Manifestarea culorii a fost descoperită de chimistul german Homolka în 1907, iar în 1912 co-autorul său

compatriotul Fischer a publicat o serie de informații valoroase pe această temă. Dar rezultatele pe care le-au obținut au fost folosite inițial doar pentru tonifiere în procesul de dezvoltare a imaginilor alb-negru. La doar peste 20 de ani de la publicarea primelor brevete privind metoda de dezvoltare a culorii au fost dezvoltate procese bazate pe acest principiu1: în 1935, procedeul Kodachrom de la Eastman Kodak (SUA) și în 1936, procesul Agfacolon de la Agfa (Germania) . Procesul Kodachrom folosește filme inversate cu trei straturi procesate folosind un proces de dezvoltare secvenţială a culorii. Metoda

Agfacolor folosește filme multistrat cu trei straturi de emulsie, în care sunt introduse așa-numitele componente nedifuzante (vezi p. 106), ceea ce permite dezvoltarea culorii tuturor celor trei straturi simultan.

În URSS, lucrările în domeniul fotografiei color au început în 1930. Primele succese în cinematografia color au fost obținute în metoda de îndoire în două culori (prin colorarea imaginii în soluții) de colorare a filmului cu două fețe. Folosind această metodă în 1935-1937. Au fost filmate mai multe filme color de lungime completă („Carnavalul florilor", „Grunya Kornakova", etc.) Dar, deoarece metoda în două culori are capacități limitate de redare a culorilor, a început dezvoltarea metodelor de scădere în trei culori de fotografie color.

Cercetările privind procesul fotografic color asupra materialelor multistrat cu componente nedifuzante în straturi au început în 1938. Până la începutul anului 1945, dezvoltarea fundamentală a acestei metode a fost finalizată, ceea ce a făcut posibilă în viitor (1946-1948) stăpânește procesele de fabricație și prelucrare a filmelor multistrat color și a hârtiei fotografice la scară de producție. Așa sunt realizate și distribuite filmele color în prezent; Pe această metodă se bazează și fotografia color profesională și amatoare.

Metode de obținere a fotografiei color

Toate metodele de fotografiere color se bazează pe un principiu în două etape: 1) separarea (analiza) unei culori complexe în culori simple (analiza poate fi efectuată fie în

1 Filmele color pentru aceste procese au avut același nume.

sistemul optic al dispozitivului sau în stratul fotografic însuși) și 2) sinteza unei varietăți de culori complexe (în stratul fotografic sau pe ecran).

În tehnologie (fotografie, televiziune, imprimare etc.), amestecarea culorilor (sinteza culorilor) se realizează fie în mod aditiv (adjuvant), fie substractiv (străgător).

În sinteza aditivă, fluxurile de lumină colorate sunt amestecate; de exemplu, fluxurile de lumină cu o singură zonă sunt proiectate pe un ecran alb. Pentru aceasta se folosesc filtre de lumină cu o singură zonă: albastru, verde, roșu (Fig. 28). Când proiectați fluxuri de lumină cu o singură zonă în perechi, ecranul va fi cyan, magenta sau galben, iar când proiectați toate cele trei fluxuri, ecranul va fi alb:

albastru + verde = albastru deschis

albastru + roșu = magenta verde + roșu = galben

albastru + verde + roșu == alb

În funcție de intensitatea relativă a unuia sau celuilalt flux, se poate obține orice ton intermediar de culoare. Este clar că albul în

timpul sintezei aditive poate fi obținut și prin suprapunerea în perechi a următoarelor fluxuri de lumină pe ecran: albastru + galben; verde + magenta, roșu + cyan. Două culori care, atunci când sunt amestecate aditiv, produc alb sunt numite complementare. Prin urmare, albastrul este complementar galben, verdele este complementar magenta și roșul este complementar cyan.

Prin sinteza subtractiva, culorile simple si complexe sunt obtinute prin scaderea anumitor componente din fluxul de lumina alba. În aceste scopuri, filtrele de lumină subtractive cu două zone sunt convenabile: cyan, magenta, galben (Fig. 29). Evident:

cyan = alb - roșu magenta = alb - verde galben = alb - albastru

Din fig. 29 este clar că prin trecerea luminii albe prin filtre de lumină cu două zone suprapuse în perechi, obținem:

cyan + galben = verde cyan + magenta = albastru galben + magenta = roșu

93

Orez. 28. Regiunile de absorbție (umbrite) ale filtrelor ideale de lumină cu o singură zonă Denumiri:

C - albastru,

3 - verde,

K - roșu

CBemotpunbmpbi

albastru verde rosu

Orez. 29. Zonele de absorbție (umbrite) ale filtrelor ideale cu două zone

Denumiri: G - albastru, F - galben, P - violet

Orez. 30. Schema de obtinere a unei imagini fotografice color prin metoda aditiva

Când toate cele trei filtre subtractive sunt combinate, lumina nu poate trece deloc prin ele și atunci avem:

cyan + galben + magenta = negru.

Inițial, s-au dezvoltat în principal metode aditive de fotografie color. Principiul lor general este ilustrat de diagrama din Fig. 30. Prin fotografierea subiectului (a) pe material fotografic alb-negru obișnuit, secvenţial, prin filtre cu o singură zonă albastru, verde și roșu (b), trei negative alb-negru separate de culori (c) și apoi trei diapozitive (d) sunt obținute. Aceste diapozitive sunt proiectate simultan pe ecran prin ele

filtre cu o singură zonă. Ecranul produce o imagine (e) în culori naturale.

Metoda aditivă a fotografiei color a fost utilizată practic în diferite versiuni pentru a produce atât imagini color statice (adică, în fotografia în sine), cât și filme color.

De exemplu, a fost propusă o metodă aditivă de cinematografie color, care a folosit proiecția secvențială a imaginilor pozitive separate de culori albastru, verde și roșu pe ecran. Când se schimbă cadrele suficient de rapid, ochiul nu distinge cadrele individuale, culorile se îmbină și se obține o imagine multicoloră. Filmarea cu această metodă a fost efectuată cu un dispozitiv prin aceeași lentilă, în fața căruia, folosind un obturator2, au fost plasate secvenţial filtre de lumină cu o singură zonă. Negativul a fost dezvoltat în mod obișnuit și apoi a fost tipărit un film pozitiv alb-negru obișnuit de pe acesta. Când proiectați acest film pozitiv pe ecran, lumina a trecut secvențial prin filtrele cu o singură zonă corespunzătoare, mutată în poziția de lucru folosind un obturator. Cu toate acestea, atunci când astfel de filme au fost proiectate pe ecran, contururile obiectelor în mișcare au fost înconjurate de o strălucire irizată din cauza pâlpâirii rapide a dungilor roșii, albastre și verzi de-a lungul contururilor. Aceasta este așa-numita paralaxă a timpului, cauzată de faptul că contururile obiectelor în mișcare din imaginile roșii, verzi și albastre nu coincid complet pe ecran, deoarece fotografiarea acestor trei imagini a fost separată una de alta printr-un anumit , deși foarte scurtă, perioadă de timp.

Paralaxa temporală este eliminată dacă pozitive de separare a culorilor sunt obținute din negative filmate simultan de trei camere cu film care funcționează sincron. Este clar că proiecția unui film color în acest caz este realizată de trei proiectoare de film care funcționează sincron. Paralaxa temporală este eliminată, dar apare paralaxa spațială - trei imagini ale aceluiași obiect, luate din puncte diferite din spațiu (chiar dacă foarte apropiate unele de altele) nu coincid complet în contururile lor (efect stereoscopic).

2 Obturator - un obturator, un obturator care blochează periodic fluxul de lumină în timp ce filmul se mișcă.

Pentru a elimina paralaxele, fotografierea prin trei filtre cu o singură zonă ar trebui efectuată nu numai simultan, ci și dintr-un singur punct de vedere, adică printr-o singură lentilă. Acest lucru se poate face folosind o cameră de separare a culorilor, a cărei diagramă este prezentată în Fig. 31. Fluxul de lumină care trece prin lentila 7 este parțial reflectat de două oglinzi translucide 2, drept urmare este împărțit în trei fluxuri. Unul dintre filtrele de lumină cu o singură zonă 3 este plasat pe traseul fiecăruia dintre ele, iar în spatele acestuia este plasat un strat fotografic 4. În acest fel, se obțin simultan trei negative de culoare separate.

Cu toate acestea, metoda aditivă a cinematografiei color nu a devenit larg răspândită, deoarece s-a dovedit a fi dificilă. Numai o metodă

aditivă de fotografie color ar putea fi utilizată mai mult sau mai puțin pe scară largă, în care pozitivul conține deja o imagine color gata făcută, adică toate cele trei imagini separate de culori sunt deja combinate și nu necesită echipament special pentru fotografiere și proiecție pe Monitorul. Una dintre variantele metodei aditive care satisface această cerință este metoda raster. Particularitatea sa este că analiza și sinteza culorilor sunt efectuate într-un singur strat fotografic. Filtrele de lumină cu o singură zonă sunt în contact direct cu partea fotosensibilă a stratului, iar aceleași filtre de lumină sunt folosite atât la fotografiere, cât și la vizualizarea imaginii color finite. Amestecarea culorilor are loc după principiul pointe lismului (pointe - speck, dot).

Dacă pete de aceeași culoare sunt aplicate pe o suprafață albă, atunci dacă suprafața este suficient de îndepărtată de ochi, va fi percepută ca fiind uniform colorată. Dacă aplicați pete de culori diferite, suprafața va fi percepută ca având o culoare amestecată. Este clar că prin aplicarea de pete de trei culori primare, putem da suprafeței orice culoare în funcție de numărul relativ de pete de o anumită culoare pe unitate de suprafață. O metodă similară de amestecare a culorilor este utilizată în tehnologia diverselor industrii asociate cu obținerea de imagini color (pentru reproducerea culorilor în tipărire, în televiziunea color etc.); Această metodă a fost folosită și de unii artiști impresioniști.

O metodă raster dezvoltată tehnologic de fotografie color, care la un moment dat a avut o mare popularitate

Orez. 31. Schema camerei de separare a culorilor

Albul călărește

Orez. 32. Schema de formare a unei imagini color în procesul de autocrom

a – elementul unei plăci autocrome după expunerea la lumină violetă și prima dezvoltare;

b - la fel după iluminare generală, a doua dezvoltare și fixare; c - vizualizarea imaginii finite color (magenta) în lumină albă

polaritatea, a fost implementat pentru prima dată în plăcile autocrome Lumiere.

În plăcile autocrome, pe suprafața sticlei sunt lipite boabe transparente de amidon vopsite în culori primare (albastru, verde, roșu). Un strat de emulsie fotografică sensibilizată pancromatic (adică, sensibil la întreaga regiune vizibilă a spectrului) este aplicat pe stratul de boabe. Fotografierea se realizează din partea din sticlă cu o cameră obișnuită. Boabele de amidon servesc ca filtre de lumină cu o singură zonă atât la fotografiere, cât și la vizualizarea imaginii finite; sunt situate haotic, într-un singur strat, fără a se suprapune.

După expunerea în cameră, placa suferă o prelucrare chimică și fotografică conform schemei obișnuite de circulație a imaginii: dezvoltare alb-negru, albire a argintului dezvoltat, expunere generală, a doua dezvoltare, fixare, spălare. Acest lucru produce o imagine pozitivă alb-negru care evaluează selectiv granulele colorate (screening tema

97

mai mult, cu atât zonele corespunzătoare din fotografia originală sunt mai întunecate). Când sunt privite în lumina albă, avem o imagine bine dezvoltată în culori naturale. Pentru a explica ceea ce s-a spus în fig. 32 prezintă ca exemplu o diagramă a formării unei imagini magenta într-un element raster autocrom.

Pe lângă procesul de autocrom Lumiere, au fost folosite și alte metode raster de fotografie color. În filmele raster Agfa, de exemplu, s-au folosit și boabe colorate localizate haotic, dar nu amidon, ci din rășină artificială. Materialele fotografice au fost folosite și cu un raster obișnuit (de exemplu, în metoda Dufay), unde liniile roșii, verzi și albastre s-au încrucișat sau au fost situate paralele. Metodele au fost dezvoltate folosind rastere optice (de exemplu, metode raster lenticulare).

Cu toate acestea, aceste variante de metode aditive de fotografie color găsesc în prezent o aplicație practică foarte limitată, deși aceste metode, de regulă, oferă o reproducere bună a culorilor, oferind culori pure și bogate. Prevalența scăzută a metodelor aditive se explică prin complexitatea acestora, costul ridicat al materialelor fotografice, cerințele pentru interpreți înalt calificați și, de asemenea, în unele cazuri, dificultatea de a obține imagini în mai mult de un exemplar.

În prezent, metodele subtractive sunt utilizate pe scară largă în fotografia color. Schema de obținere a imaginilor color folosind aceste metode este simplă. În primul rând, prin fotografiarea subiectului prin filtre cu o singură zonă (albastru, verde, roșu), se obțin trei pozitive separate de culori. Apoi imaginile acestor pozitive sunt colorate în culori care sunt complementare cu culorile filtrelor folosite în fotografie (filtru albastru - imagine galbenă etc.). Suprapunând pozitive galbene, magenta și cyan una peste alta, se creează o imagine în culorile naturale ale subiectului.

Implementarea acestui principiu simplu este însă departe de a fi simplă. Principalele dificultăți sunt următoarele: 1) este dificil să fotografiați subiectul în trei zone spectrale simultan și dintr-un punct de vedere (pentru a evita paralaxele temporale și spațiale), 2) metoda de transformare a imaginilor argintii alb-negru în imagini pozitive nu a fost suficient de dezvoltat

98

în culoare și 3) nu este întotdeauna posibilă combinarea precisă și fiabilă a contururilor a trei imagini color atunci când sunt suprapuse una peste alta.

Au fost propuse o serie de metode subtractive de fotografie color, de exemplu, vibrarea (colorarea) imaginilor argintii, coloranții decolorați („Gasparco-Ig”) etc. Cu toate acestea, toate aceste metode nu au fost utilizate pe scară largă, în principal din cauza complexității lor. .

Schema procesului fotografic color pe materiale multistrat cu componente de dezvoltare a culorii

Metodele de fotografiere color pe materiale multistrat sunt lipsite de majoritatea dezavantajelor inerente altor metode, așa că sunt utilizate pe scară largă atât în străinătate, cât și în URSS. Există mai multe metode cunoscute pentru obținerea de imagini color pe materiale fotografice multistrat. Vom lua în considerare aici diagrama de proces pentru materiale multistrat cu componente nedifuzante ale dezvoltării culorii în versiunea sa de bază, „clasică”. Acest proces a câștigat o mare popularitate deoarece este foarte simplu de implementat: atât etapa de fotografiere, cât și etapa de fotografiere chimică nu sunt, în principiu, diferite de etapele corespunzătoare ale fotografiei alb-negru obișnuite. Procesul necesită practic același echipament de fotografiere și procesare ca și procesul de fotografiere alb-negru convențional. Prin urmare, această metodă este disponibilă nu numai specialiștilor cu înaltă calificare, ci și fotografilor obișnuiți, inclusiv fotografi amatori. În același timp, face posibilă obținerea de imagini color de o calitate destul de înaltă.

Metoda luată în considerare a fost dezvoltată atât în versiune negativ-pozitivă, cât și pentru obținerea imaginilor color prin inversare. În oricare dintre opțiuni, materialul fotosensibil are, în principiu, aceeași structură, în cel mai simplu caz - prezentat în Fig. 33. Pe substrat sunt aplicate trei straturi de emulsie fotografică. Ele diferă de straturile obișnuite de emulsie utilizate în fotografia alb-negru doar prin aceea că conțin compuși organici speciali, numiți de obicei „componente de culoare” sau „componente de dezvoltare a culorii” (structura acestor

substanțele vor fi indicate mai jos). Între straturile de emulsie de sus și mijloc există un strat de filtru galben care absoarbe lumina din zona albastră a spectrului; între stratul de emulsie inferior și substrat este un substrat care leagă straturile de emulsie de substrat. Grosimea fiecărui strat de emulsie este de 5-10 microni, stratul filtrant este de 2-3 microni.

Stratul superior de emulsie nu conține un sensibilizator spectral; stratul de emulsie mijlociu este sensibilizat la verde, iar stratul inferior de emulsie la zona roșie a spectrului. Toate straturile de emulsie, indiferent de sensibilizarea spectrală, sunt sensibile la zona albastră a spectrului (sensibilitatea intrinsecă a halogenurei de argint) (Fig. 34).

Stratul superior de emulsie conține componenta galbenă sau, așa cum se numește de obicei, „galben”3 a dezvoltării culorii, stratul mijlociu conține „violet”, iar stratul inferior conține componenta „cian”. În realitate, componentele de culoare sunt substanțe incolore conținute în

stratul fotosensibil, iar numele lor (galben, violet, cyan) indică doar culoarea coloranților care se formează din componente în timpul dezvoltării culorii.

Obținerea unui negativ de culoare pe materiale multistrat constă în următoarele operații:

- fotografiere (expunere);
- dezvoltarea culorii;
- spălare;
- albirea argintului dezvoltat;
- spălare;
- fixare;
- spalare si uscare finala.

În timpul procesului de expunere, în straturile de emulsie se formează o imagine latentă, al cărei mecanism de formare nu este diferit de acest mecanism pe materialele fotografice alb-negru convenționale. Este clar că în stratul superior de emulsie imaginea latentă se formează sub influența luminii în zona albastră a spectrului. Stratul de filtru galben nu transmite lumina acestei zone către straturile de dedesubt, iar în stratul mijlociu se formează o imagine latentă sub influența luminii din zona verde, iar în stratul inferior - sub influența luminii din zona verde. zona roșie a spectrului.

3 Spre deosebire de cuvântul „componentă”, care înseamnă „componentă”, termenul „componentă” este folosit aici.

Straturi

Emulsie superioară Argintiu galben Emulsie mijlocie

Emulsie de fund

Substratul

În mod fraudulos

Antihalo verde

Orez. 33. Structura materialelor fotografice color multistrat

Orez. 34. Schema sensibilității spectrale a straturilor de emulsie de materiale multistrat colorate

1 - strat superior de emulsie; 2 - strat de emulsie mijlociu;

3 - strat de emulsie inferior

Orez. 35. Schema de formare a unei imagini color într-un proces negativ-pozitiv pe materiale multistrat

Zonele umbrite conțin argint dezvoltat

Materialul fotografic expus este scufundat într-un dezvoltator de culoare (în realitate este incolor; numele „colorat” înseamnă doar că atunci când dezvoltatorul acționează asupra materialului fotografic expus, se formează o imagine color). În compoziția sa, dezvoltatorul de culoare nu este aproape deloc diferit de dezvoltatorii obișnuiți alb-negru; Derivații de parafenilendiamină sunt utilizați ca substanțe de dezvoltare (vezi secțiunea 4).

101

Esența formării unei imagini color în timpul procesului de dezvoltare este aceea că produsele de oxidare primară ai substanței de dezvoltare (Ox), care rezultă din reducerea argintului, reacționează în combinație cu componentele de culoare (CC) pentru a forma coloranți (Kp):


$AgBr$ + Roșu” = $Ag + Br” + Ox$;


$Ox + CC = Kp$.

Culoarea vopselei este determinată în principal de compoziția chimică a componentei de culoare.

După dezvoltare, materialul fotografic trebuie spălat pentru a îndepărta produșii de reacție solubili (Br~, etc.) din straturile de emulsie; spălarea se face și după albire și fixare; nu o vom mai aminti.

Apoi imaginea dezvoltată este albită și fixată. Pentru albire se folosește o soluție de sare roșie din sânge $K_3Fe(CN)_6$. În acest caz, argintul dezvoltat (precum și argintul stratului filtrant galben) se oxidează, transformându-se într-o sare albă insolubilă $Ag_4Fe(CN)_6$; un alt produs de reacție, $K_4Fe(CN)_6$, este foarte solubil.


$4Ag + 4K_3Fe(CN)_6 = Ag_4Fe(CN)_6 + 3K_4Fe(CN)_6$.

Când sunt fixate, atât $Ag_4Fe(CN)_6$, cât și halogenura de argint a microcristalelor de emulsie care rămân nedezvoltate se dizolvă:


$Ag_4Fe(CN)_6 + 8Na_2S_2O_3 = 4Na_3Ag(S_2O_3)_2 + Na_4Fe(CN)_6$,


$AgBr + 2Na_2S_2O_3 = Na_3Ag(S_2O_3)_2 + NaBr$.

Astfel, după albire și fixare, în straturile de emulsie rămân doar coloranți (galben în stratul superior, violet în mijloc și cyan în partea de jos).

Din negativul color rezultat, puteți imprima un pozitiv color pe film pozitiv multistrat sau hârtie foto. Etapele succesive ale procesului pozitiv sunt aceleași cu cele discutate mai sus. Schema de obținere a

unei imagini pozitive a originalului în culori naturale într-un proces negativ-pozitiv este prezentată în Fig. 35.

În această diagramă, o scară de culori cu opt câmpuri (diagrama a) cu următoarele este luată ca subiect de fotografie

culorile câmpului: alb, albastru, cyan, verde, galben, roșu, violet, negru. Fotografiind această scară pe film negativ color, obținem trei negative color separate pe culori, situate unul deasupra celuilalt și strâns interconectate (diagrama b), deoarece sunt situate în trei straturi de emulsie ale aceluiași film. În timpul procesului de dezvoltare a culorii, formarea argintului și a coloranților are loc în acele zone ale straturilor de emulsie care au fost expuse la lumină în timpul procesului de fotografiere. La albire și fixare, argintul este îndepărtat de pe negativul de culoare, dar coloranții rămân intacți (diagrama c). Dintr-o comparație a diagramelor c și b, este clar că îndepărtarea argintului elimină înnegrirea argintului din imaginea color.

Dacă negativul finit este văzut în lumină albă transmisă, acesta va arăta așa cum se arată în diagrama d. Pe negativ, câmpul alb al originalului va fi transferat în negru, albastru în galben, albastru în roșu etc., adică fiecare din câmpurile originalului vor fi transferate în negativ într-o culoare complementară culorii originalului. Din negativ color, imaginea este transferată pe film pozitiv color sau hârtie fotografică. Diagrama e arată culoarea pozitivă după dezvoltare, iar diagrama e o arată în formă finită, adică după albire și fixare. Din diagrama g este clar că distribuția culorii pe câmpurile din culoarea pozitivă corespunde culorii originale originale.

Obținerea unui pozitiv colorat pe materiale multistrat este de asemenea posibilă folosind metoda inversării. Filmul color reversibil multistrat în structură și compoziție nu este, în principiu, diferit de filmele color multistrat negative și pozitive, dar, ca urmare a unui regim special de procesare, se obține o imagine direct pozitivă pe el.

După expunere, filmul color reversibil este supus următoarei procesări:

- dezvoltare alb-negru (pentru care, în principiu, aproape orice dezvoltator, de exemplu metol-hidrochinona, este potrivit);
- iluminare generală;
- dezvoltarea culorii;
- albire;
- fixare.

În intervalele dintre aceste operații (dar, bineînțeles, nu după expunerea generală), pelicula se spală într-un

A

Orez. 36. Schemă de formare a unei imagini color pe materiale multistrat prin metoda inversării

Zonele umbrite conțin argint dezvoltat

apă fină și terminați tratamentul cu clătire temeinică.

Formarea unei imagini color pozitive prin metoda inversării este ilustrată de diagramele din Fig. 36. Obiectul fotografiei, ca și în cazul precedent, este un tabel de culori cu opt câmpuri (schema a).Ca urmare a dezvoltării alb-negru, se formează argint, dar nu se formează coloranți (schema b). În acele locuri în care argintul nu este dezvoltat, rămâne halogenură de argint. În următoarea operație, ca urmare a iluminării generale, toată halogenura de argint rămasă în straturile de emulsie ale filmului devine capabilă de dezvoltare. În timpul dezvoltării culorii, atât coloranții, cât și argintul se formează simultan. În consecință, după dezvoltarea culorii, argintul este aplicat pe toate zonele din toate straturile (în unele zone ca urmare a alb-negru, iar în alte zone ca urmare a dezvoltării culorii), iar vopselele sunt aplicate numai pe zonele care au primit capacitatea de a se dezvolta la iluminare generală (diagrama c). În procesele de albire și fixare, se îndepărtează tot argintul și obținem o imagine pozitivă color finisată (diagrama d), care, văzută în lumină albă, transmite originalul în culori naturale (diagrama e).

Din discuția schematică dată aici despre procesul de culoare pe materiale multistrat, este clar

avantajele sale față de alte procese fotografice color. Posibilitatea paralaxei temporale sau spațiale este exclusă, deoarece fotografiarea subiectului se realizează simultan pe toate cele trei straturi și dintr-un singur punct de vedere. Nu este nevoie să folosiți filtre albastru, verde și roșu la fotografiere, deoarece separarea culorilor se realizează direct în material ca urmare a sensibilității spectrale corect selectate a celor trei straturi de emulsie. Nu este nevoie de colorare separată a imaginilor separate (în galben, magenta și cyan), deoarece imaginea primește automat culoarea necesară în timpul procesului de dezvoltare. Dispar și dificultățile de a combina contururile a trei imagini separate de culori, deoarece toate cele trei straturi sunt ferm conectate între ele pe parcursul întregului proces fotografic, formând un singur întreg.

Esența chimică a procesului de dezvoltare a culorii

Procesul fotografic color pe materiale multistrat se bazează pe reacțiile chimice de formare a coloranților galbeni, magenta și cyan în straturile de emulsie în timpul dezvoltării fotografice. După cum sa menționat deja, coloranții se formează ca urmare a combinării produselor de oxidare primară ai substanței în curs de dezvoltare cu componente de culoare (Ox + CC = Kp), iar culoarea colorantului rezultat este determinată în principal de structura chimică a componentei. .

Dintre substanțele de dezvoltare, ai căror produse de oxidare pot reacționa în combinație cu componentele, se folosesc parafenilendiaminele substituite $H_2NC_6H_4NR_2$, în special substanțele de dezvoltare a culorii CPV-1 și CPV-2. Derivații de a-naftol (I) sunt utilizați de obicei ca componente albastre (adică, formând un colorant albastru); în acest caz, în timpul procesului de dezvoltare, se formează colorantul albastru G:

T1 ' $NC_6H_4NR_2$

105

Pentru a obține coloranți galbeni și violet, se folosesc componente care conțin gruparea metilen activă $-CH_2-$. Formula generală a unor astfel de componente este $R'R''CH_2$. Exemple sunt componentele galbene (II) și violete (III). Ca rezultat al reacției combinate, se formează coloranți azometinici - galben (IΓ) și violet (III') .

H2C-CoNHC6H4COOH R2NC6H4N=C-CONHCeH4COOH I
Eu cu
I H2NC6H4nr2I
C6H4 *cΛ
eu si eu
NHCOCnH2n+1 II NHCOCnH2n+1

H2^-CпH2п+1 R2NC6H4N=CC-CnH2n+1

O=CN H2NC6H4NR2O=CN

\/ ------------------> \/

ɪɪɪ NC6H4SO3H III' NC6H4SO3H

Este important de menționat că moleculele componentelor și coloranților conțin un lanț lung de hidrocarburi C_nH_{2n+4} (de exemplu, $C_{47}H_{35}$ sau $C_{48}H_{37}$). Conferă moleculelor rezistență la difuzie, fixând componente și coloranți în straturile de emulsie în care ar trebui să fie (componente galbene și colorant în stratul superior etc.). Dacă componentele și coloranții nu ar fi fixate în anumite straturi, dar ar fi libere să se difuzeze, ar fi imposibil să se reproducă corect culoarea originalului.

Să luăm în considerare etapele succesive de formare a colorantului în timpul procesului de dezvoltare ($R'R''$ CH_2 - componentă și $H_2NC_6H_4NR_2$ - substanță de dezvoltare).

În prima etapă, molecula de substanță în curs de dezvoltare reduce un atom de argint, transformându-se în cationul radical semichinonic, care reduce imediat un alt atom de argint, formând cationul diimină IV:

2AgBH+R2N-çY-NH2-2Ag+2Br^+R2N=/= \ =NH + H+

IV

Componentele dintr-o soluție alcalină ca urmare a disocierii electrolitice sunt sub formă de anioni:



R,R"CH2R,R"CH~ + H+.

106

Când anionul componentului interacționează cu cationul diimina, se formează o leucobază incoloră (solubilă în apă) a colorantului V:

care reduce încă doi atomi de argint, transformându-se într-un colorant:



2 Ag Vi +

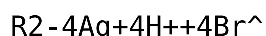


+ 2H+ + 2Br^.

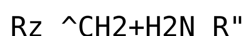
Procesul general este scris de ecuație



4AgBr+



R2-4Ag+4H++4Br^



Rz ^CH2+H2N R"

Astfel, pentru o moleculă uzată a substanței în curs de dezvoltare există patru atomi de argint reduși, iar doi dintre ei sunt reducți direct de substanța de dezvoltare și doi de leucobaza colorantului. Este clar că în aceste reacții leucobaza îndeplinește funcții similare cu cele ale sulfitului în dezvoltarea alb-negru.

Ion sulfit, reducător de diimină IV

previne formarea leucobazei, iar apoi formarea colorantului. Prin urmare, în compoziția dezvoltatorilor de culoare se adaugă cantități foarte mici de sulfit de sodiu pentru a proteja substanța în curs de dezvoltare de oxidare. În tabel 7 prezintă compoziția dezvoltatorilor pentru prelucrare

ka

Tabel 7. Compoziția dezvoltatorilor „color” (g/l)

de componente	* 1234
CPV-1	2.32.9—4
CPV-2	——4,5—
Na2SO3(6e3B.)	2212
Sulfat de hidroxilamină	1,21.221,2
K2CO3	60609075
KBr	220,52
Trilon B	2222

Notă. Hidroxilamina este introdusă pentru a spori efectul de conservare al sulfitului de sodiu. Trilon B (sau complexon III) - etilendi-a mintetraacetat de sodiu - se administrează ca substanță care reduce

duritatea apei (pentru a lega ionii Ca2÷ și a preveni așa-numita rețea de calciu din imagine).

* Dezvoltatorii sunt destinati dezvoltarii: 1 - filme negative, 2 - filme pozitive, 3 - hartie fotografica, 4 - film reversibil TsO-2.

ki de materiale neferoase domestice. Pentru caracteristicile filmelor color, vezi tabel. Anexele VIII și IX.

Pe lângă versiunea clasică de prelucrare a materialelor fotografice color, se utilizează procesarea într-o singură etapă cu transfer de difuzie. Primul kit fotografic color industrial a fost lansat de compania americană Polaroid în 1963. În acest kit, compuși care combină proprietățile colorantului și substanței de dezvoltare (dezvoltatori de colorant) sunt utilizați pentru a forma colorantul. Aceștia sunt de obicei derivați de hidrochinonă care conțin substituenți care asigură o colorare galbenă, violetă sau albastră. Aceste substanțe sunt introduse în straturi separate situate sub straturile sensibil la albastru, sensibil la verde și sensibil la roșu. După expunerea materialului negativ, acesta este tratat în contact cu materialul receptor cu o soluție de procesare vâscoasă, în timp ce are loc o reacție în straturile de emulsie ale materialului negativ.

0

Z-Kp

+2Ag++2Hαt+2H20,

OH rAτ-z-κp

[G +2AgHdl+20H

OH   0

unde Kp este un colorant de dezvoltare cu mobilitate

108

EXPUNERE ȘI OBSERVATOR

SUPORT TRANSPARENT

STRATUL DE POLIM ACID

MATERIAL - RECEPTOR

STRAT CU SIGANT Kp

SOLUȚIE DE TRATARE (APA, INGROSANT, ALCALINI, DIOXID DE TITANIU, ETC.)

STRATUL DE EMULSIE SENSIBIL LA ALBASTRU

GALBEN METALIZAT Kr-PV

STRATUL INTERMEDIAR

VERDE SENSITIVE EMULSION STRAT

Kr-PV METALIZAT MOV

MATERIAL NEGATIV

STRATUL INTERMEDIAR

STRAT DE EMULSIE SENSIBIL LA ROSIU

ALBASTRU METALIZAT Kr-PV

SUBSTRAT

Orez. 37. Schema unui proces fotografic color într-un singur pas folosind kitul foto SX-70

ness; Kp' este forma oxidată a colorantului de dezvoltare, care devine imobil atunci când interacționează cu gelatina; Z este un grup care leagă colorantul de dezvoltator.

Colorantul de dezvoltare, reducând halogenura de argint, este oxidat, forma sa oxidată este legată de gelatină în zonele expuse; în zonele neexpuse ale stratului de emulsie, colorantul difuzează prin straturile de material negativ și soluția de prelucrare și intră în receptor. material. Materialul receptor conține substanțe care neutralizează alcalii din soluția de tratament și fixează colorantul de difuzie. Ca rezultat, coloranții dezvoltatori ajung în stratul receptor într-o cantitate invers proporțională cu valoarea expunerii și formează o imagine color pozitivă în acesta. Această imagine este vizualizată după separarea stratului de primire. Timpul de procesare este de 1 min.

Sensibilitatea la lumină a setului foto color descris mai sus este de 75 de unități. CA.

În 1972, Polaroid a lansat kitul foto SX-70, care nu necesită nicio separare a materialelor sau prelucrare suplimentară (Fig. 37). Culoarea din setul foto SX-70, ca în cazul descris mai sus, se formează ca urmare a difuzării coloranților dezvoltatori (D-PV), care în acest caz sunt complexe de crom și cupru, în materialul receptor. După procesare, materialul negativ și materialul receptor sunt menținute în poziție aliniată, iar imaginea pozitivă rezultată este vizualizată prin suportul transparent al materialului receptor. După îndepărtarea trusei fotografice din cameră timp de 2 minute, are loc „re-dezvoltarea" în lumină, care include două procese: 1) difuzia și fixarea coloranților dezvoltatori în materialul primitor; 2) decolorarea coloranților indicatori în soluția de prelucrare. Coloranții indicatori previn expunerea materialului fotografic în etapa inițială a procesării, dar se decolorează pe măsură ce alcaliul se neutralizează. Dioxidul de titan previne expunerea stratului la lumină în timpul procesării și servește drept ecran reflectorizant față de care este vizualizată imaginea finală.

Un proces color într-un singur pas care vă permite să obțineți o imprimare fotografică de înaltă calitate în 1 minut a fost utilizat pe scară largă în fotografia amatorilor de mai bine de 20 de ani.

6. Procese fotografice

pe materiale non-argintii

Informații generale

În secțiunea 1, am observat că istoria dezvoltării fotografiei începe cu heliografia, un proces de înregistrare pe un material sensibil la lumină care nu conține argint. Ulterior, procesul fotografic s-a dezvoltat în paralel în două versiuni: argint, mai precis halogenură de argint, și non-argint.

A doua jumătate a secolului XX se caracterizează prin dezvoltarea rapidă a proceselor de înregistrare pe materiale non-argintii. Pe parcursul unui sfert de secol, din 1950 până în 1975, au fost dezvoltate mai mult de o duzină de astfel de procese; unii dintre ei

fundamental diferite de cele cunoscute anterior (electrofotografie, termografie, sisteme fotoinițiate, proces vezicular, care este un tip de diasografie etc.).

Se știe că majoritatea materialelor non-argintii au sensibilitate insuficientă pentru procesul fotografic. Mai mult decât atât, materialele non-argintiu potrivite pentru fotografie nu au apărut decât la 100 de ani de la dezvoltarea primului proces de înregistrare non-argint. De fapt, fotografia fără argint s-a născut în anii 1960 când au fost dezvoltate filme fotoconductoare organice.

Procesele fotografice pe materiale non-argintie includ electrofotografie pe filme fotoconductoare organice, înregistrarea fototermoplastică și procesul de migrare. Cu toate acestea, toate procesele fotografice non-argint numite sunt în esență modificări ale electrofotografiei clasice, așa că este recomandabil să luăm în considerare pe scurt principiul tehnic și istoria dezvoltării procesului electrofotografic.

În electrofotografie, ca și în procesele fotografice discutate mai sus, o imagine se obține în două etape: mai întâi se obține o imagine latentă, apoi este vizualizată prin dezvoltare. Imaginea latentă în electrofotografie este obținută pe materiale fotoconductoare; formarea ei în majoritatea cazurilor (deși nu în toate) se bazează pe capacitatea fotoconductoarelor de a crește conductivitatea electrică sub influența luminii. Cu toate acestea, utilizarea materialelor fotoconductoare este caracteristică tuturor proceselor electrofotografice, indiferent de mecanismul care stă la baza formării imaginii.

Procesul de obținere a unei imagini în electrofotografie poate fi direct sau indirect (Fig. 38). Procesul direct include patru etape:

1 - încărcarea materialului fotoconductor;

2 - expunere;

3 - manifestarea unei imagini latente prin particule încărcate ale unei substanțe colorate (toner);

4 –remediază imaginea.

După cum se poate observa în Fig. 38, procesul indirect, pe lângă etapele enumerate, mai conține una (5): transferul imaginii după dezvoltare din stratul fotoconductor la materialul de primire - hârtie, film etc. Toate fotografiile

111

4=4t

Orez. 38. Schema procedeului electrofotografic clasic a - indirect;

b - proces direct

1

Metodele fizice de obținere a imaginilor pe materiale fotoconductoare se bazează pe un proces electrofotografic direct și diferă între ele doar prin modul în care este dezvoltată imaginea latentă.

Primele încercări de a folosi un câmp electric pentru a obține o imagine pe materiale fotoconductoare au fost făcute încă din 1922 de R. von Bronck (Germania), care a brevetat o metodă de obținere a unei imagini electrostatice pe un material (set) cu trei straturi constând dintr-un strat conductor

ny, hârtie electrosensibilă și strat fotoconductor. Setul a fost plasat într-un câmp electric și expus selectiv, în timp ce în zonele iluminate ale stratului fotoconductiv conductivitatea electrică a crescut și curentul a acționat asupra hârtiei electrosensibile din zonele adiacente, determinând culoarea hârtiei ca urmare a unei reacții electrochimice. . Și deși este evident că acest proces este în esență copiere, departe de procesul modern de electrofotografie (vezi Fig. 38), totuși, aceasta a fost prima încercare de a folosi fenomenul de fotoconductivitate pentru a obține o imagine electrostatică latentă.

În următorii 10 ani, au fost brevetate o serie de procese bazate pe obținerea unei imagini latente prin depunerea selectivă a sarcinilor pe un material nefotoconductor (P. Selenyi, R. Goldman, U. Huebner, SUA). În 1932, de Mouliner a primit un brevet în Belgia pentru o metodă de înregistrare electrostatică a imaginilor folosind un strat de seleniu depus pe folie metalică. Pe acest material au fost aplicate piese vopsite

112

Dezvoltatorii au expus și au creat simultan un câmp electric în jurul materialului. Pe zonele iluminate ale fotoconductorului, particulele de

revelator au fost ținute electrostatic și apoi fixate cu un solvent organic, care a dizolvat parțial revelatorul. Această metodă are deja mult mai multe în comun cu procesul electrofotografic clasic, deși nu există o etapă de preîncărcare. Procesul de Mouliner este interesant în primul rând pentru că a fost primul care a folosit un material fotoconductor format dintr-un substrat metalic și un strat de seleniu. Un astfel de material este folosit și astăzi în procese electrofotografice indirecte (adică copiere).

Data invenției electrofotografiei este considerată a fi 1939, când Charles Carlson (SUA) a primit un brevet pentru o metodă pe care a numit-o „xerografie”. În procesul lui Carlson, materialul fotoconductiv preîncărcat a fost expus sub originalul pe un substrat de sticlă și dezvoltat cu o pulbere colorată. Imaginea rezultată a fost transferată pe hârtie ceară cu o rolă și fixată prin încălzire. După cum putem vedea, procesul lui Carlson a cuprins toate etapele procesului electrofotografic clasic indirect (vezi Fig. 38), cu toate acestea, procesul xerografic a avut multe dezavantaje și, mai ales, fotosensibilitate scăzută. Carlson a folosit o placă de zinc cu un strat de sulf ca material fotoconductor, deși placa de seleniu folosită anterior de de Moulinaire are fotosensibilitate și rezoluție mai mare.

Cu toate acestea, chiar și cu aceste neajunsuri, procesul de xerografie a stârnit interes și în următorul deceniu s-au făcut numeroase încercări în Statele Unite de a-l îmbunătăți. Modernizarea a afectat aproape toate etapele procesului: electrificarea fotoconductorului, dezvoltare și transfer de imagini. Ca rezultat, a fost posibilă îmbunătățirea semnificativă a caracteristicilor imaginii: contrast și rezoluție. Luând în considerare toate îmbunătățirile, primul lot de echipamente electrofotografice a fost lansat în 1950. Dezvoltatorul său, compania americană Xerox Corp., a monopolizat piața echipamentelor electrofotografice timp de mulți ani.

În 1954, a fost brevetat procedeul electrofotografic direct „electrofax”, făcând posibilă obținerea hârtiei acoperite care conține o dispersie de oxid de zinc.

113

Tabel 8. Caracteristici ale proceselor fotografice pe halogenură de argint și materiale fotoconductoare

Materiale fotosensibile   Fotosensibilitate S   Rezoluție R, MM~ ɪTimp de achiziție a imaginii, s
unitati Procesarea expunerii GOSTm2/J
Halogenură de argint 0,01-3000(1-3) 1053000 *Iu-i—10'660
Fototermoplastic   1-10IO2-IO3300010'40.1
Electrofotografic organic   1-5IO2800IO"25
Migrare   40IO3120010"41-5

* Cu unități OD de sensibilitate. GOST

ka într-un liant, imagine electrofotografică fără transfer. Dezvoltatorii acestui proces au fost R. Jung și W. Greig, angajați ai companiei americane Radio Corp, of America (RCA). Chiar și în forma sa originală, procesul „electrofax” a făcut posibilă obținerea de copii de

calitate superioară decât în xerografie, iar în decurs de un an a fost posibilă sensibilizarea spectrală a oxidului de zinc, crescând astfel fotosensibilitatea generală a procesului. Aproape în același timp (în 1955), în SUA au fost dezvoltați dezvoltatori lichizi pentru hârtii cu oxid de zinc, a căror utilizare a mărit rezoluția de aproximativ 10 ori.

Totuși, în ciuda tuturor îmbunătățirilor, procedeul pe hârtiile de oxid de zinc este utilizat doar ca proces de copiere, deși are caracteristici comune cu electrofotografia pe filme fotoconductoare: achiziție directă a imaginii pe stratul fotosensibil; posibilitatea de sensibilizare spectrală a fotoconductorului; utilizarea dezvoltatorilor lichizi.

Metoda de înregistrare fototermoplastică, dezvoltată de W. Glenn (SUA) în 1962, a fost primul proces fotografic pe filme fotoconductoare. În 1969, compania japoneză Matsushita Electric Co. a lansat primul film electrofotografic, Rapasora. W. Goff (SUA) în 1971 a descris un proces pe material fotoconductiv, care a fost numit

migrație (primul brevet privind procesul de migrare a fost eliberat lui Goff în 1964).

Ne vom opri asupra caracteristicilor acestor procese mai detaliat puțin mai târziu. Aici observăm doar că fiecare dintre ele diferă de celelalte nu numai prin structura și compoziția materialului, ci și prin metoda de manifestare și aspectul imaginii finale. Cu toate acestea, în ceea ce privește principalele caracteristici, toate aceste procese nu sunt inferioare proceselor pe filmele cu halogenură de argint (Tabelul 8).

Proces de scriere fototermoplastic

Acest proces produce o imagine de înaltă rezoluție de difuzare a luminii, ale cărei elemente sunt formate din microcaneluri care apar pe suprafața materialului fotosensibil. În fig. 39, se poate observa că filmul fototermoplastic de înregistrare este compus dintr-un substrat, un strat metalic translucid conductor electric, un strat fotoconductor și o rășină termoplastică transparentă. Fotoconductorul poate fi amplasat și direct în stratul de polimer termoplastic (vezi Fig. 39, b). În primele brevete, ca fotoconductor erau folosite particule de seleniu sau aliajul său cu telur, acum se folosesc fotoconductori organici: derivați de carbazol, poliacetilenide etc.

Procesul de înregistrare fototermoplastic diferă de procesul electrofotografic direct, cum ar fi electrofax, doar în prelucrarea imaginii latente, care constă în încălzirea filmului la temperatura de înmuiere a polimerului, adică până la 100-140oC.

În funcție de tipul de film fototermoplastic (vezi Fig. 39, a și b), imaginea se obține în trei sau patru etape. Când se utilizează așa-numita peliculă cu două straturi cu straturi termoplastice și fotoconductoare combinate, procesul de obținere a unei imagini latente este similar cu acest proces în metoda electrofax. Când se utilizează o

peliculă cu trei straturi cu straturi termoplastice și fotoconductoare separate, aceasta este încărcată suplimentar cu o descărcare corona după expunere. Această operațiune se realizează astfel încât la interfața dintre stratul fotoconductor și stratul deformabil termoplastic, după primul ciclu de încărcare și expunere, să nu se formeze un strat de barieră, ceea ce reduce contrastul electrostatic al imaginii latente.

7Ay 2H

Și

Orez. 39. Schemă de obținere a unei imagini pe o peliculă fototermoplastică: trei straturi cu straturi termoplastice și fotoconductoare separate (a) și două straturi cu un strat deformabil fotoconductor (b) I - polimer termoplastic; II - fotoconductor; III - un amestec de fotoconductor și polimer termoplastic; IV - stratul conductor;

1 - încărcare; 2 - expunere; 3 - reincarcare;

4 - dezvoltare prin încălzire

Astfel, încărcarea secundară mărește contrastul imaginii latente.

Indiferent de tipul de film fototermoplastic, imaginea vizibilă se obține ca urmare a deformării polimerului termoplastic, care este o consecință a interacțiunii electrostatice a suprafețelor încărcate opus ale stratului deformabil.

În timpul dezvoltării termice, polimerul se înmoaie până la o stare în care forța de atracție electrostatică între sarcini diferite devine mai mare decât rezistența polimerului la deformare. Ca urmare, se formează un sistem de șanțuri de adâncimi variabile, corespunzător potențialului unui element dat al imaginii latente (Fig. 40). După ce filmul se răcește, imaginea vizibilă este fixată.

Astfel, imaginea de pe stratul de polimer deformabil este un microrelief cu un număr mare de elemente sub formă de caneluri care împrăștie lumina destul de haotic. Imagine în fotografie-

Orez. 40. Amplasarea sarcinii electrice pe film după expunere (a) și deformarea peliculei după dezvoltare (b) d 1 - strat deformabil fotoconductor; 2 - strat conductiv electric; 3 - substrat; 4 - încărcături care formează o imagine latentă

========

Orez. 41. Schema de reproducere a unei imagini deformate printr-un proiector schlieren

1 - prima fante raster; 2 – lentila condensatorului; 3 - film cu o imagine; 4 - microrelief sub forma unui sistem de caneluri; 5 - al doilea raster; 6 – lentilă de proiecție; 7 - ecran

filmul termoplastic este adesea numit film de deformare. Canelurile care formează imaginea de deformare au o adâncime de 1–5 μm. Pe de o parte, dimensiunea redusă a canelurilor determină rezoluția ridicată a procesului de înregistrare fototermoplastic; pe de altă parte, creează anumite inconveniente, deoarece atunci când sunt citite cu ochiul liber, aproape toate zonele imaginii împrăștie lumina uniform.

Imaginea din filmul fototermoplastic este citită cu un proiector Schlieren, al cărui principiu de funcționare este prezentat în Fig. 41. Fluxul luminos de la sursa de lumină trece prin sistemul de fante ale primului raster și cade pe filmul fototermoplastic sub forma unui fascicul paralel de raze perpendicular pe suprafața filmului. În spatele filmului există un al doilea raster cu fante, situat astfel încât zonele transparente ale unui raster să corespundă zonelor opace ale celuilalt. În absența fibrelor optice la suprafață sau în volumul filmului

neomogenități, razele care trec prin primul raster și filmul vor fi întârziate de al doilea raster și nu vor ajunge în planul de citire sau pe ecran. În prezența unor neomogenități optice, cum ar fi elementele de microrelief, razele se abat de la direcția directă și trec nestingherite prin fantele celui de-al doilea raster. Ca urmare, pe ecran se obține o imagine alb-negru, al cărei contrast depinde de parametrii canelurii, în principal de adâncimea acesteia. Când spunem că adâncimea canelurii depinde de potențialul de imagine latent al unei anumite microsecțiuni a filmului, ne referim la un singur factor, deși foarte important. De fapt, adâncimea și forma canelurii depind și de proprietățile polimerului.

Caracteristicile fotografice ale unui film pentru înregistrarea fototermoplastică sunt reglementate de sensibilizarea spectrală a fotoconductorilor, utilizarea polimerilor termoplastici cu anumite caracteristici dielectrice și reologice, precum și introducerea în peliculă a unor substraturi fotoconductoare subțiri care generează purtători de sarcină în timpul expunerii. Introducerea unor astfel de substraturi, numite injectare, face posibilă creșterea fotosensibilității procesului de 10-100 de ori. Rețineți că rezoluția (vezi Tabelul X din Anexă) corespunde valorilor minime pentru aceste tipuri de materiale. În condiții optime de înregistrare, de exemplu când se utilizează un fascicul laser foarte focalizat, rezoluția filmelor fototermoplastice ajunge la 3000 mm”1. Datorită rezoluției înalte a filmelor fototermoplastice, este posibilă obținerea de microfilme cu o reducere de peste 100. Acest tip de înregistrare asigură o densitate foarte mare de acumulare de informații, aproximativ 6 milioane de cifre binare la 1 cm2 de suprafață. Filmele fototermoplastice se caracterizează printr-o eficiență ridicată de difracție, de aceea este indicat să le folosești pentru a obține holograme.

Un avantaj important al filmelor fototermoplastice față de alte materiale fotografice este capacitatea de a șterge imaginea și de a reutiliza filmul de mai multe ori (de până la 1000 de ori).

Electrofotografie

pe filme fotoconductoare organice

În esență, acest proces electrofotografic este unul clasic și nu este diferit de procesul „electrofax”, cu excepția materialului de înregistrare. În cazul general, acest material constă dintr-un substrat de film, un strat de metal care transmite cel puțin 50% din radiația în zona vizibilă a spectrului și un strat de fotoconductor organic (Fig. 42) cu grosimea de aproximativ 100 de microni. Pentru a crește fotosensibilitatea, pelicula electrofotografică este echipată cu un strat de injecție, de obicei dintr-un fotoconductor anorganic (seleniu, aliaj seleniu-telur, sulfură de cadmiu sau seleniură). Stratul de injecție este plasat între straturile electrice și fotoconductoare. Astfel, din punct de vedere tehnologic, procesul de obținere a unei imagini pe filme organice este similar cu procesul „electrofax”, inclusiv dezvoltarea lichidului, iar din punct de vedere al structurii materialului de înregistrare este foarte apropiat de procesul de înregistrare fototermoplastic. Un film practic organic pentru electrofotografie este un analog al unui film fototermoplastic cu două straturi, singura diferență fiind că stratul fotoconductor electrofotografic nu ar trebui să aibă termoplasticitate.

Mecanismele de formare a unei imagini latente în procesele electrofotografice și fototermoplastice sunt de asemenea aceleași și se bazează pe redistribuirea potențialului de încărcare a filmului (Fig. 43).

Ca urmare a unui proces electrofotografic în trei etape: încărcare, expunere, dezvoltare (Fig. 44), se obține o imagine alb-negru sau color care absoarbe lumina pe un substrat de film transparent. Ca revelator se folosește un sistem multicomponent, care conține un purtător lichid incolor cu rezistență electrică mare, care se evaporă rapid la temperatura camerei, în care se dispersează un toner (substanță colorată), un liant de rășină și un dispersant. Toate ingredientele sunt conținute în concentrații mici și nu se dizolvă în purtătorul lichid.

Obținerea unei imagini pe filme electrofotografice organice (ca în procesele electrofotografice clasice) este posibilă folosind o schemă pozitiv-negativ sau pozitiv-pozitiv. În primul caz, pentru pro-

Orez. 42. Structura filmului electrofotografic organic

1 - strat fotoconductor;

2 - substrat;

3 - strat transparent conductor de electricitate

Orez. 43. Modificarea potențialului electric al unei pelicule fotoconductoare în timpul încărcării și expunerii

1/început „potenţial iniţial; Hper este potențialul care determină contrastul imaginii latente; U octτ - potenţial rezidual

Orez. 44. Obținerea unei imagini pe film organic electrofotografic

a - încărcare; b - expunerea; c - imagine dezvoltată; 1 - strat fotoconductor; 2 - strat conductiv electric; 3 - substrat; 4 - original; 5 - elemente de imagine

fenomen de imagine latentă, este utilizat un toner al cărui semn de încărcare este similar cu semnul de încărcare a imaginii latente; în al doilea caz, semnul de încărcare a tonerului trebuie să fie opus semnului de încărcare a imaginii latente. Imaginea obținută pe filme electrofotografice este utilizată pentru citire sau copiere pe alt material fotosensibil.

Primul film electrofotografic industrial bazat pe fotoconductori organici, Panafax, a fost lansat în 1969. Filmul a fost dezvoltat de compania japoneză Matsushita Electric Co. împreună cu echipament pentru producerea de microfilm pe acesta cu o reducere de 1:6. Timpul de achiziție pentru un cadru a fost de 12 s. În 1972, filmul a fost modificat prin introducerea colorantului trifenilmetan; este produs in prezent in 35mm sub marca "Rapasoru" pentru productia de microfilme in rola la reducere de 12:1 pe echipamentul Panacopy-K 3000.

În 1973, compania americană Scott Graphie Inc. a dezvoltat dispozitivul System 200 pentru producerea de microfilme (microfișe) cu o reducere de 25: 1 pe film format TER Film P5-003. Dezvoltarea System 200 a costat 3 milioane de dolari și părea să nu existe șanse de implementare industrială cu succes. Cu toate acestea, în 1976, societatea „A. V. Dick" a cumpărat brevetul și documentația tehnică și a început să producă echipamente sub marca "A. B. Sistemul Dick 200.” Până în 1978, 500 dintre aceste dispozitive au fost vândute; în 1983, numărul de dispozitive ale acestui model în funcțiune a ajuns la 1.500. Filmul „TER Film P5-003” nu are un strat de injecție care crește sensibilitatea; stratul său fotoconductor conține o dispersie de meta-fenilendiamidă într-un liant polimeric pe bază de stiren. Imaginea latentă este dezvoltată cu un dezvoltator lichid, timpul total pentru obținerea unui cadru de microfișă este de 8 s. Dispozitivul System 200 produce microfișe care conțin 60 și 98 de cadre.

Din 1975, a fost produs un număr destul de mare de filme organice pentru electrofotografie, care din punct de vedere al fotosensibilității și rezoluției nu sunt inferioare filmelor cu halogenură de argint pentru microfilmare. Astfel, pe filmul Micrat 900, se obține o imagine cu o densitate optică de 1,0 cu o expunere de 300 lux s (vezi Tabelele XI și XII din Anexă).

Principalul domeniu de aplicare a electrofotografiei pe filme organice este microfilmarea. Sensibilizarea spectrală a fotoconductorilor organici la întreaga zonă vizibilă și la o parte a zonei IR a spectrului extinde domeniul de aplicare a acestor materiale. De exemplu, filmele „SO 101” și „SO 102” vă permit să înregistrați o imagine direct de pe afișaj. Este de remarcat faptul că aceste filme sunt produse de compania americană Eastman Kodak Co., unul dintre cei mai importanți dezvoltatori de materiale fotografice cu halogenură de argint. O caracteristică importantă a filmelor electrofotografice organice este posibilitatea de „retipărire” a informațiilor, deoarece stratul fotoconductor, neprotejat de tonerul depus ca urmare a dezvoltării, își păstrează complet proprietățile de lucru. Acest lucru este deosebit de important atunci când se înregistrează informații pe microfișă, pe care sunt adesea lăsate cadre goale, de exemplu, când se înregistrează informații care sosesc neregulat și care sunt periodice.

121

Procesul de înregistrare a migrației

Primul raport despre posibilitatea obținerii unei imagini ca urmare a mișcării (migrației) particulelor fotoconductoare sub influența câmpului electric al unei imagini latente a fost realizat de W. Goff, angajat al Xerox Corp. (STATELE UNITE ALE AMERICII). Până în prezent, această companie continuă să fie singurul dezvoltator al procesului fotografic de migrare, care a fost îmbunătățit semnificativ în ultimii 15 ani.

Esența procesului de migrare este aceea că particulele fotoconductoare, dispuse sub formă de monostrat (Fig. 45, a) sau dispersate într-un liant polimeric izolator electric (Fig. 45, b), migrează către substrat, iar împrăștierea luminii. a materialului din zonele se modifică.purtarea unei imagini. După cum se poate observa în figură, materialul de migrare constă dintr-un substrat, un strat conductiv electric și un strat de înregistrare care conține particule fotoconductoare, de exemplu, seleniu, un aliaj de seleniu cu telur, arsen, antimoniu sau sulfură de cadmiu.

Materialul este încărcat cu o descărcare corona (Fig. 46, a) la un potenţial de 80-200 V; rețineți că în procesele electrofotografice și fototermoplastice, pentru a obține o imagine de contrast, este necesară încărcarea la un potențial de 500-1000 V. Imaginea latentă se formează în timpul procesului de expunere (Fig. 46, b) ca urmare a încărcării particulelor fotoconductoare în zonele iluminate ale filmului. O imagine vizibilă este obținută prin înmuierea stratului în timpul dezvoltării până la o viscozitate la care forțele de interacțiune electrostatică dintre particulele încărcate și sarcina indusă prevalează asupra forțelor de rezistență ale polimerului la migrarea particulelor. Dezvoltarea poate fi realizată termic, cu vapori de solvent (Fig. 46, c) și solvent (lichid, Fig. 46, e). Metoda de dezvoltare determină polaritatea imaginii: negativă sau pozitivă.

Ca urmare a dezvoltării termice (încălzire timp de 1-5 s la 80-120oC), se obține o imagine pozitivă, formată ca urmare a migrării particulelor fotoconductoare pe substrat și a distribuției acestora în așa fel încât să se formeze goluri de transmisie a luminii între ele (Fig. 46, d).

122

orez. 45. Structura filmului pentru obtinerea unei imagini de migrare

1 - substrat;

Dacă - bază;

1" - strat conductiv electric;

2 - strat de termoplastic izolator electric

polimer de lizare;

3 - particule fotoconductoare

Ușoară

yuooooo

OOOOOO

θʊe

0000000000000000000

Lumină când citești

Solvent

Orez. 46. Schema de obținere a unei imagini de migrare în procesul XDM a - încărcare; b - expunerea; c - manifestare prin incalzire sau vapori de solvent; d – citirea unei imagini pozitive; d - manifestare lichidă; e - citirea unei imagini negative; 1 - substrat; 2 - strat transparent conductor de electricitate; 3 - strat înmuiat; 4–particule fotoconductoare de migrare; 5 - strat protector; c – dispozitiv corona; 7 - particule fixe de migrare

123

Tabelul 9. Caracteristici ale procesului de migrare XDM

Caracteristici Mod de manifestare
încălzirea vaporilor de solvent cu solvent lichid
Fotosensibilitate (la λ = 400 nm), m2/J I-IO35-1024-IO3
Rezoluție *, mm _1560-700600-800900-1200
Densitatea optică maximă 1.951.951,95
Densitate optică minimă 0,60,60,2
Contrast 1-21,5-2,51,5-3,0
Timp de dezvoltare, s 1-51-5–5
Tip imagine PozitivPozitiv sau negativNegativ
* În timpul expunerii în impulsuri la laser cu argon.

Când este dezvoltată în vapori de solvent, imaginea este formată după un model similar, deoarece vaporii de solvent și încălzirea înmoaie

liantul polimeric al filmului. Când sunt dezvoltate în perechi timp de 5 secunde sau mai puțin, se obține o imagine pozitivă; când este dezvoltată pentru o perioadă mai lungă, se obține o imagine negativă.

Când se dezvoltă cu un solvent (vezi Fig. 46, e), liantul împreună cu particulele nemigrate este îndepărtat cu solventul, particulele migrate, împreună cu resturile de liant, sunt fixate pe substrat și formează o imagine negativă. (Fig. 46, f),

În prezent, procesul de migrare există în două modificări: XDM (Xerox Dry Microfilm), care a fost descris mai sus și AMEN (Agglomération Migration Electropliotograpliic Negative).

Procedeul AMEN, propus în 1983, diferă de procedeul XDM discutat mai sus prin faptul că materialul, după dezvoltarea imaginii latente în vapori de solvent, este încălzit timp de 10-30 s până când polimerul se înmoaie. Ca rezultat, particulele nemigrate formează aglomerate, crescând astfel densitatea optică a imaginii. Procesul AMEN are următoarele caracteristici: fotosensibilitate (la $\lambda = 400$ nm) IO3 m2/J, rezoluție >250 mm'1, mini

124

densitățile optice cele mai scăzute și maxime sunt 0,25 și, respectiv, 1,65. Timp de achiziție a imaginii 1 min.

Caracteristicile fotografice ale procesului de migrare depind de o serie de factori. Fotosensibilitatea este determinată de sensibilitatea particulelor fotoconductoare, precum și de metoda de dezvoltare a imaginii latente (Tabelul 9); rezoluția este determinată de metoda de dezvoltare, dimensiunea particulelor care migrează (de obicei aproximativ 1 micron) și, de asemenea, metoda de expunere. Când este expus la surse de lumină convenționale, rezoluția filmului de migrare nu depășește 400 mm-1; la utilizarea unui fascicul laser, toate celelalte lucruri fiind egale, rezoluția crește de 2-3 ori (vezi Tabelul 9).

Pe lângă schimbarea modurilor de expunere și dezvoltare, sunt cunoscute și alte metode care reglează caracteristicile fotografice ale procesului de migrare. De exemplu, densitatea optică a unei imagini poate fi mărită prin încălzirea unui film dezvoltat anterior în vapori de solvent timp de 1-2 s la 120oG. Ca urmare a formării de aglomerate din particule nemigrate, densitatea optică crește cu cel puțin 0,7.

Contrastul imaginii poate fi crescut și prin reducerea densității optice a fundalului. Acest efect este realizat prin introducerea în stratul de înregistrare a unei substanțe care formează un complex de transfer de sarcină, de exemplu derivați de diamină, pirazolină și fluoren.

* * *

Cele mai importante caracteristici de performanță ale materialelor fotografice includ persistența lor, adică constanța proprietăților fotografice ale materialului neexpus în timpul depozitării. După cum se vede din tabel. 10, termenul de valabilitate al filmelor

fotoconductoare este mai mare decât cel al filmelor cu halogenură de argint.

Domeniul principal de aplicare a filmelor fotoconductoare este producerea de microforme (microfilme, microfișe) de prima generație (micrografie). Microformele de prima generație sunt concepute pentru a produce duplicate sau copii mărite pe hârtie în mașinile de citit și copiat. Uneori, deși mult mai rar, microformele de prima generație sunt folosite pentru citire în mașinile de citit. La operarea micro-

125

Tabelul 10. Conservabilitatea materialelor fotografice

materialului   in conditii optime de pastrare, luni Factori care determina imbatranirea accelerata
umiditate relativă, % temperatură 9G
Materiale fotografice cu halogenură de argint pentru procesul cu prelucrare chimică   12-18>80 și <50>30 și <–10
Materiale cu halogenură de argint dezvoltate termic   6-48>80 și <50>30 și <–10
Materiale pentru prelucrarea prin difuzie   18>80 si <50>30
Filme electrofotografice organice   12-24>85>40 si <5
Filme fototermoplastice   12-36>85>40 si <5
Filme de migrație   36-60>90>40 și <0

roforme, o caracteristică importantă este rezistența lor la circulație, adică păstrarea calității unei imagini fotografice pe o microformă în timpul utilizării pe termen lung sau repetate. Rezistența la circulație a microformelor pe filmele fotoconductoare nu este în medie mai mică decât pe filmele cu halogenură de argint (Tabelul 11).

Echipamentele pentru filmare pe filme fotoconductoare sunt produse în prezent în loturi industriale. Dispozitivele de fotografiere pe filme electrofotografice nu sunt foarte diferite din punct de vedere structural de dispozitivele de copiere directă pe hârtie acoperită cu oxid de zinc. Au un sistem optic care reduce imaginea proiectată pe film și un mecanism de transport al benzii modificat. Aparatele pentru înregistrarea fototermoplastică, în locul unei unități de dezvoltare lichidă utilizată în procesul electrofotografic, conțin un dispozitiv de dezvoltare termică cu curenți de înaltă frecvență. Dispozitivele de filmare pe film de migrare conțin două unități de dezvoltare: pentru metode lichide și termice. Echipamentele de filmare pentru utilizarea industrială a filmelor fotoconductoare au dimensiuni apropiate de dimensiunile camerelor de filmare care funcționează pe filme cu halogenură de argint.

La reproducerea microformelor prin duplicare, obțineți

126

tabelul 11. Stocarea imaginilor pe materiale fotografice în timpul funcționării și depozitării

Film pentru achizitia imaginii   Retinerea imaginii in conditii optime de depozitare, ani Durabilitate imagini, cicluri de expunere

Halogenură de argint cu tratament fotochimic 1001 000
Dezvoltator termic cu halogen argintiu - 20-50500
mincinos
Electrofotografie organică - 501.000
cheskaya
Fototermoplastic 10010 000
Migrație 151.000

La realizarea de copii mărite sau citirea informațiilor din microforme pe filme electrofotografice și de migrare, se pot folosi echipamente utilizate pentru operarea microformelor pe filme cu halogenură de argint. Odată cu aceasta, au fost dezvoltate echipamente unice direct pentru lucrul cu filme fotoconductoare, de exemplu, dispozitive de citire echipate cu raster cu fante.

Xerox Corp. produce un dispozitiv de dimensiuni mici pentru obținerea de microforme pe filme de migrare și citirea imaginilor din acestea. Vederea generală și schema schematică a dispozitivului sunt prezentate în Fig. 47. Dispozitivul are dimensiuni de gabarit de 180 × 150 × 85 mm și permite, în 5 s, obținerea unui microframe pe film de 35 mm cu o reducere de 12: 1. Aparatul conține două sisteme de iluminat autonome 1 și 2 și două optice. sistemele 3 și 4. Originalul, situat la 75 cm de lentila 3, este iluminat cu un set de lămpi bliț 1. După deschiderea obturatorului 5, este expusă pelicula de migrare, electrificată în prealabil de încărcătorul (corotronul) 6 la un potențial de 100 -200 V când filmul este derulat de la bobina 7 la bobina 7'. Rebobinarea filmului este asigurată de mecanismul de transport al benzii 8. Lămpile 1 se sting automat după expunere, obturatorul revine în poziția inițială, iar în același timp imaginea latentă este dezvăluită de un încălzitor Ili în contact cu spatele filmului. La 5 secunde de la pornirea sistemului de expunere, s-a terminat

Orez. 47. Vedere generală și diagramă schematică a unui aparat portabil pentru microfilmare și citire microfilm pe film XDM

imaginea poate fi citită prin sistemul de lentile 4 când imaginea de pe film este iluminată de lămpile 2, care sunt aprinse prin apăsarea unui buton de pe panoul frontal. Iluminatoarele sunt alimentate de bateriile 9; corotronul este alimentat cu energie prin unitatea de alimentare 10.

În încheierea acestui capitol, trebuie menționat că procesele fotografice moderne pe filme fotoconductoare se dezvoltă intens nu numai ca urmare a extinderii gamei de materiale și echipamente fotosensibile, ci și datorită modificărilor proceselor de înregistrare în sine. Cele de mai sus se aplică tuturor celor trei procese considerate aproximativ în mod egal. Procesele fotografice pe materiale fotoconductoare au, fără îndoială, perspective de dezvoltare foarte serioase, despre care vom discuta în capitolul următor.

7. Perspective de dezvoltare a fotografiei

Informații generale

Este timpul să încercăm să răspundem la întrebarea: cum va fi fotografia în viitor? Prezicerea dezvoltării oricărui proces nu este o sarcină ușoară, mai ales într-o epocă de progres atât de rapid în știință și tehnologie. În ceea ce privește fotografia, problema se complică și mai mult de faptul că dezvoltarea acesteia are loc la intersecția a două ramuri ale științei: fizica tehnică (echipamente și instrumente) și chimie (materiale fotosensibile, procesare). Merita

128

O altă întrebare care merită o atenție serioasă este: la ce ne referim când vorbim despre fotografie de „mâine”? Cu alte cuvinte, cât de departe în viitor ne putem permite să privim în viitor pentru ca prognoza să pară suficient de solidă?

Să reamintim că dezvoltarea proceselor fotografice color în versiunea lor modernă a avut loc practic în perioada 1935-1970, procesul fotografic de difuzie a câștigat faima la mijlocul anilor 1940 și în următorii 30-35 de ani a atins nivelul modern de dezvoltare. În ultimii 25 de ani, electrofotografia a evoluat de la un proces de copiere capabil să reproducă în primul rând texte originale într-un proces fotografic de înaltă rezoluție care concurează cu succes cu fotografia cu halogenură de argint în microfilmare și, în unele privințe, chiar o depășește. Calitatea hologramelor de fază obținute prin înregistrarea fototermoplastică nu este inferioară calității hologramelor de argint. Este puțin probabil ca în urmă cu 30 de ani vreun specialist să fi prezis un astfel de progres în dezvoltarea fotografiei pe materiale non-argintii. Și este puțin probabil ca vreunul dintre specialiștii moderni din domeniul fotografiei să riscă să facă vreo prognoză rezonabilă a dezvoltării proceselor fotografice pentru următorii 100 sau chiar 50 de ani. Prin urmare, când vorbim despre fotografia de „mâine”, ne referim la perspectivele dezvoltării acesteia în următorii 20-25 de ani.

Înainte de a prezice dezvoltarea ulterioară a fotografiei, să rezumăm câteva rezultate care caracterizează starea sa actuală. Mai sus, am subliniat în mod repetat că procesele fotografice joacă un rol foarte important în viața omului modern, care este în continuă creștere, pe măsură ce fotografia găsește din ce în ce mai multe noi domenii de aplicare.

Ce caracteristici ale metodei fotografice au făcut-o atât de răspândită și i-au oferit un avantaj față de observarea directă cu ochiul? (Deși ochiul rămâne în unele privințe un instrument optic de neegalat.) Există cel puțin nouă astfel de avantaje.

1. În primul rând, trebuie avut în vedere că fotografia (inclusiv cinematografia) documentează evenimente

129

dând astfel posibilitatea de a le observa celor care nu au fost prezenți când au avut loc aceste evenimente. Documentarea fotografică a unui eveniment face posibilă studierea lui în detaliu după o perioadă nelimitată de timp (senzația vizuală durează doar 0,14 s, iar imaginea fotografică are o persistență nelimitată). Documentarea fotografică are

o importanță enormă pentru surprinderea nu numai a fenomenelor fizice sau tehnice, ci și a evenimentelor istorice (de exemplu, valoarea istorică excepțională a fotografiilor lui V.I. Lenin, L.N. Tolstoi, evenimentele din primii ani ai existenței statului sovietic, Marele Război Patriotic din 1941 este clar - 1945 etc.).

2. O imagine fotografică poate fi reprodusă cu ușurință în orice număr de copii, ceea ce face posibil ca un număr nelimitat de persoane să o utilizeze. Reproducerea poate fi realizată atât direct prin metode fotografice de imprimare pozitivă, cât și prin metode fotomecanice, utilizate pe scară largă în tipărire. În același timp, o imagine fotografică poate fi ușor convertită în semnale electrice și transmisă ca imagine de televiziune sau fototelegraf.

3. Avantajul esențial al unei imagini fotografice este acuratețea ei geometrică. În același timp, imaginea fotografică poate fi modificată suplimentar după cum este necesar - mărită sau redusă - și, dacă este necesar, cu distorsiunea geometrică corespunzătoare; Poate fi folosit pentru a efectua măsurători liniare, precum și pentru a determina gradul de expunere la lumină, prin urmare, poate fi utilizat pentru o varietate de scopuri de măsurare.

4. Dacă fotografia statică face posibilă modificarea scării liniare a imaginii, atunci în fotografia dinamică, adică în cinematografie, a fost dezvoltată o metodă de modificare a scării de timp, care face posibilă prelungirea sau scurtarea timpului unui anumit proces într-o imagine de film. Ca urmare a acestui fapt, putem observa procese extrem de lente (de exemplu, creșterea plantelor) într-un ritm accelerat sau, dimpotrivă, procese foarte rapide (de exemplu, zborul unui glonț) într-un ritm lent.

5. Metoda fotografică face posibilă surprinderea fenomenelor de scurtă durată, împărțirea proceselor complexe care apar în timp în faze de foarte scurtă durată. În camerele cinematografice speciale moderne este posibil să se înregistreze fenomene care durează miimi și milionimi de secundă.

6. Un avantaj foarte semnificativ al materialelor fotografice în comparație cu ochiul este capacitatea lor de acumulare, care constă în faptul că sunt capabile să sintetizeze efecte de lumină slabă în timp, pe care ochiul nu este capabil să le facă. Astfel, prin reglarea vitezei de expunere, este, în principiu, posibilă înregistrarea luminozităților arbitrar scăzute pe stratul fotografic. Această capacitate a stratului fotografic este folosită, în special, în astronomie pentru a detecta stelele invizibile pentru ochi. Capacitatea de stocare, adică dependența efectului fotografic de cantitatea de iluminare și nu de iluminare (de lucru și nu de putere), distinge stratul fotografic de majoritatea celorlalți receptori de radiație.

7. Materialele fotografice au o capacitate de informare extrem de mare, deoarece pot înregistra simultan și la fel de exact multe obiecte. Cu dimensiuni unghiulare de 45-70° ale unui obiect tipic de semitonuri, numărul de detalii reproduse în imagine poate ajunge la sute de mii și chiar milioane. În cazul utilizării de materiale

fotosensibile speciale (cum ar fi „Micrat”) și când fotografiați obiecte cu contrast ridicat (de exemplu, texte tipărite), în imagine pot fi înregistrate și mai multe informații. În același timp, ochiul, deși are un câmp vizual mai larg decât majoritatea lentilelor fotografice (în special ținând cont de mobilitatea globului ocular), nu este capabil, datorită caracteristicilor psihofiziologice ale unei persoane, să surprindă simultan o mare număr de detalii.

8. Un avantaj foarte semnificativ al stratului fotografic asupra ochiului (și față de orice alt detector de radiații) constă într-o gamă semnificativ mai largă de sensibilitate spectrală. În timp ce ochiul este sensibil la radiațiile electromagnetice în intervalul de lungimi de undă de 400–700 nm, metodele fotografice moderne fac posibilă detectarea radiațiilor electromagnetice în intervalul de la

razele γ (λ = IO”2 ÷ 10“3 nm) către regiunea infraroșu îndepărtat (λ > 800 nm). Straturile fotografice moderne sunt, de asemenea, folosite pentru înregistrarea particulelor elementare, ceea ce face posibilă utilizarea metodelor fotografice în fizica nucleară.

9. Cu ajutorul fotografiei moderne, este posibil să se înregistreze diferențe subtile de culoare între obiecte și chiar să se obțină o imagine color a radiației care nu este percepută direct de ochi (de exemplu, radiația din regiunile ultraviolete și infraroșii ale spectrului).). Exprimarea în culoare a radiațiilor invizibile pentru ochi este de mare importanță într-o serie de cazuri atunci când se identifică obiecte și detaliile acestora, de exemplu, în fotografia spectrozonală (color) sau în medicină.

Fotografia își datorează utilizarea pe scară largă progresului tehnologiei fotografice și, în primul rând, dezvoltării proceselor fotografice.

Factorii care determină dezvoltarea fotografiei

Din numărul mare de factori care influențează dezvoltarea fotografiei, îi vom evidenția doar pe cei principali, cei care, în opinia noastră, au o influență decisivă asupra cursului și direcției de desfășurare a proceselor fotografice. Acești factori includ:

– nevoia în continuă creștere a societății de procese și materiale fotografice pentru diverse scopuri;

- deficit global de argint;

- factori economici.

Dinamica creșterii volumului de producție de materiale cu halogenură de argint este prezentată în Fig. 48. Creșterea producției și, prin urmare, a consumului de materiale cu halogenură de argint este foarte semnificativă atât în termeni bruti cât și valorici. În același timp, creșterea producției de materiale fotografice în diverse scopuri nu este aceeași. De exemplu, în Japonia, așa cum se poate observa din fig. 49, în perioada 1965-1980, producția de filme fotografice alb-negru a

crescut de 3 ori, filmele cu raze X și color - de 5, respectiv de 7 ori.

Din păcate, datele disponibile în literatura de specialitate cu privire la dinamica creșterii în producția de materiale non-argintioase sunt împrăștiate, greu de comparat și în unele cazuri contradictorii. În plus, înainte

132

60

A

1960 19701980196019701980

Gady Gedi

Orez. 48. Dinamica creșterii volumului producției globale (a) și a costurilor de producție (b) a materialelor fotografice cu halogenură de argint

Orez. 49. Dinamica creșterii producției în Japonia de filme cu halogenură de argint (a) și hârtii (b)

1 - colorat; 2 - radiografie; 3 - alb-negru

la începutul anilor 80 ai acestui secol, termenul de „materiale fotografice non-argintie” însemna orice materiale fotosensibile de acest tip (electrofotografice, fotopolimerizante, diazotipale, veziculoase etc.), majoritatea fiind folosite nu pentru fotografie, ci pentru copiere.

Trebuie remarcat faptul că s-a înregistrat o creștere semnificativă a producției și a consumului de filme non-argint în scopuri fotografice. Este suficient să spunem că peste 10 ani (din 1974 până în 1984), utilizarea filmelor non-argintii în microfilmare (pentru obţinerea şi reproducerea microfilmelor).

133

Orez.

50. Dinamica consumului

(1) și minerit (2) argint

£

nw

8 -

6

9

2

Orez. 51. Modificări ale prețurilor la po pe piața mondială

1950 I9601970

forme) a crescut de la 31 la 53%. Mai mult de jumătate din această creștere provine din filme fotoconductoare. A crescut și utilizarea materialelor non-argintii pentru alte scopuri speciale (holografie, imprimare, înregistrare optică a informațiilor etc.).

Încercările de înlocuire a materialelor fotografice argint-halogen cu altele non-argintie se explică în mare măsură prin deficitul acut de argint, care este determinat, pe de o parte, de cererile din ce în ce mai mari de argint din diverse industrii, iar pe de altă parte, de rezervele globale foarte limitate de argint sub formă de resurse naturale. Potrivit experților, la mijlocul anilor 1960, rezervele mondiale de argint se ridicau la 170 de mii de tone, producția anuală a fost în medie de 7 Igg mii de tone, iar consumul depășea semnificativ producția (Fig. 50).

Strict vorbind, lipsa de argint nu este direct legată de creșterea producției de materiale fotografice. În primul rând, fotografia reprezintă nu mai mult de 30% din volumul total al echipamentelor electrice; până la 90% din argintul cheltuit pentru producția de film și materiale fotografice este returnat prin metoda regenerării sale din soluții de procesare și deșeuri negative. Cu toate acestea, deficitul de argint impune cu siguranță anumite restricții asupra dezvoltării fotografiei cu halogenură de argint și nu numai pentru că există o nevoie urgentă de reducere a consumului de argint, ci și din considerente economice.

g

5

£

mA de consum de argint; argintul sunt industriile electronice și siderurgice. În al doilea rând, ,

134

leziuni. Faptul este că deficitul tot mai mare de argint a provocat o creștere bruscă a prețurilor pentru acesta (Fig. 51), drept urmare, în mod natural, costul materialelor fotografice cu halogenură de argint a crescut. Materialele fotografice non-argintii sunt mult mai ieftine; în medie, 1 m2 de material fotografic cu halogenură de argint este de 5-6 ori mai scump decât materialul fotografic non-argint.

De asemenea, trebuie luat în considerare faptul că majoritatea materialelor fotografice cu halogenură de argint necesită procesare fotochimică, ceea ce nu numai că crește costul procesului fotografic, dar îl face și mai puțin avansat din punct de vedere tehnologic. Astfel, celor trei factori menționați mai sus care determină

dezvoltarea proceselor fotografice moderne, se adaugă un al patrulea - necesitatea, dacă este posibil, de a evita procesele de prelucrare fotochimică umedă.

Posibilități de îmbunătățire a caracteristicilor fotografice ale filmelor cu halogenură de argint și non-argint

Anterior, am observat în repetate rânduri că utilizarea materialului fotografic în anumite scopuri determină diferite cerințe pentru caracteristicile sale fotografice, adesea foarte specifice. De exemplu, fotografia de amatori și artistică necesită o fotosensibilitate relativ mare a materialului fotografic și neapărat o latitudine fotografică mare, în timp ce cerințele de rezoluție sunt foarte moderate. La microfilmare, o condiție indispensabilă este rezoluția înaltă, fotosensibilitatea poate fi scăzută și nu este necesară o latitudine fotografică mare. Pentru materialele fotografice, este necesar un contrast ridicat, adică latitudine fotografică scăzută etc.

După cum se vede din tabel. 12, cele mai importante caracteristici ale materialului fotografic atunci când se determină „adecvarea profesională” a acestuia sunt fotosensibilitatea și rezoluția. Este evident că căile prezise pentru dezvoltarea fotografiei depind în mare măsură de cât de departe sunt valorile de fotosensibilitate și rezoluție realizabile teoretic de valorile atinse în prezent în materiale fotografice fotografice reale (Fig. 52). Caracteristicile unor materiale sunt date în tabel. 13.

135

Orez. 52. Dependența fotosensibilității (S) de dimensiunea medie a microcristalelor (a) de halogenură de argint

1 - curba teoretică;

2 - experimental (pentru diferite

tipuri personale de materiale fotografice)

După cum se știe, pentru materialele cu halogenură de argint, fotosensibilitatea S este proporțională cu volumul microcristalelor de emulsie dezvoltate și, într-o primă aproximare, poate fi exprimată prin egalitate.

$S = K(\tilde{a})3/2/P$,

unde a este aria medie de proiecție a microcristalelor; P este echivalentul fotometric al argintului dezvoltat; K este un coeficient de proporționalitate care include factori care caracterizează indirect gradul de sensibilizare chimică a microcristalelor.

Dacă luăm numărul critic de quante g* egal cu 4 (adică un microcristal devine capabil de manifestare după ce a primit patru cuante de energie radiantă), putem calcula valorile fotosensibilității $S_{0.8\beta}$ (cu criteriul $D = 0.85 \div D_0$) pentru diferite dimensiuni (a) microcristale. Fotosensibilitatea celor mai bune probe industriale este de numai 3-4 ori mai mică decât fotosensibilitatea calculată teoretic.

Calculul arată în continuare că, dacă ar fi posibil să se realizeze o sensibilizare uniformă în întregul spectru vizibil la nivelul sensibilității intrinseci a microcristalelor, atunci fotosensibilitatea totală a materialelor reale s-ar dubla aproximativ. Apoi, folosind toate celelalte metode, ar fi posibilă creșterea fotosensibilității de numai 1,5-2 ori. Rezerva de fotosensibilitate constă, desigur, în reducerea numărului critic de cuante (7*), adică în creșterea sensibilității pragului microcristalelor. Cel mai simplu mod de a crește S este creșterea dimensiunii microcristalelor, dar acest lucru duce inevitabil la o scădere a rezoluției R.

136

Tabelul 12. Cerințe pentru filme fotografice pentru diverse scopuri

Domeniul de aplicare	Caracteristici fotografice
Caracteristici de performanță
fotosensibilitate 8, m2/J rezoluție R4 MM~1 sensibilitate spectrală, procesare HMreutilizarea materialului
Astronomie, spectroscopie	IO3-IO4100—200200—1100 Gay admisNu
Fotografie amator, cinematografie profesională	IO3-IO550—100300—750""
Micrografie (microfilmare)	10-2—IO2100—1000300—700""
Copierea și duplicarea documentelor (reprografie)	10-2—1010—100300-700""
Înregistrarea și prelucrarea informațiilor în lumină coerentă	10-3—IO25000300-700 Nepermis Da, ciclic 20—IO6
Holografie fină	IO-I-IO25000300—700PermisNr
Microelectronică, imprimare	10-3—10-2200—5000300-4500 Indezirabil"
Aerografie, fotografie spațială	IO4-IO6500—1000400—1000 Permis"

Tabelul 13. Caracteristicile fotografice ale materialelor fotosensibile

Material fotosensibil

sλ. 10“4 m2/ /J	Fotosensibilitate S, unitati. GOST Sensibilitatea spectrală, HM

Rezoluția H,

MM-1

Materiale cu halogenură de argint

Kit foto „Polaroid	lθɪi10 000300-70025
Ture 410"
Film „Royal-X-	10°1 000300-70070
Rap"
Hârtii foto	IO6-IO80.1-10300-500Până la 100
Filme fototehnice	IO5-IO90.01-100300-700Până la 200
Filme fotografice Mikrat	IO5-IO70.01-1300-500Până la 700

Materiale electrofotografice

Straturi de seleniu IO910300-70060
Straturi de oxid de zinc IO50.1300-600100
Fototermoplastic IO5-IO70.1-10300-7001000
filme
Filme electrofotografice organice IO5-IO60.1-1300-800300-600
Filme de migrare (XDM) IO710350–800250-1000

Calculele discutate aici se aplică, în principiu, nu numai pentru halogenură de argint, ci și pentru orice alte straturi fotosensibile. Prin urmare, cu greu ne putem aștepta ca în viitorul apropiat să fie găsite sisteme noi care să ofere o fotosensibilitate mai mare decât straturile de halogenură de argint.

În ceea ce privește straturile de halogenură de argint, este necesar să se țină seama de faptul că aproape toate metodele utilizate pentru creșterea fotosensibilității duc inevitabil la o deteriorare a caracteristicilor structurale ale imaginii fotografice, în primul rând la o scădere a rezoluției și, în consecință, la o scădere. în cantitatea de informaţie înregistrată de strat. Prin urmare, chiar dacă ar exista modalități reale de creștere a sensibilității la lumină a materialelor fotografice, dezvoltarea ulterioară a fotografiei nu ar putea urma această cale din cauza limitărilor structurale, mai ales că sensibilitatea la lumină insuficientă.

138

În zilele noastre, intensitățile sunt compensate prin metode optice, de exemplu, utilizarea surselor de radiații laser, creșterea raportului de deschidere al unui obiectiv fotografic etc. În plus, au fost dezvoltate metode eficiente pentru intensificarea imaginilor slabe folosind convertoare electron-optice.

Fotografia pe straturi de halogenură de argint s-a apropiat de limita naturală nu numai a sensibilității spectrale generale, ci și a undelor lungi. Utilizarea coloranților sensibilizatori face posibilă avansarea limitei de sensibilitate a lungimii de undă lungi a straturilor la 1300 nm. Moleculele coloranților corespunzători (tetra- și pentacarbocianine) conțin lanțuri lungi de polimetină, de exemplu
I---------1 I-+-------1

A-NAlk-C=CH(CH=CH)nC=NAlk-A, A - heterociclu. Cu cât lanțul este mai lung, cu atât sinteza unui astfel de colorant este mai dificilă și este mai puțin stabilă. Pentacarbocianinele sunt deja atât de instabile încât ele și straturile sensibilizate de ele trebuie păstrate la frigider. Încercările de a avansa sensibilitatea straturilor de halogenură de argint în regiunea infraroșu dincolo de 1300 nm au fost nereușite (deși limita de undă lungă de 1300 nm a fost atinsă încă din 1935). Acest eșec se explică nu atât prin dificultățile de sinteză a coloranților corespunzători, cât prin motive de natură mai fundamentală.

S-a demonstrat că un colorant care sensibilizează o emulsie fotografică la $\lambda > 1300$ nm (de exemplu, $\lambda = 2000$ nm) direct, fără expunere, reduce halogenura de argint (voalează stratul fotografic). La $\lambda = 3000 \div 4000$ nm, stratul ar fi „expus” sub influența căldurii mediului deja în timpul procesului de fabricație a materialului fotografic.

Fotografia clasică devine neputincioasă în cazurile în care este necesară fotografiarea obiectelor în propria radiație la temperaturi sub 300oC, de exemplu, obiectele incandescente, deoarece la o temperatură a obiectului de 320oC, când fotografiați pe straturi de halogenură de argint, bine sensibilizate în regiunea infraroșu, viteza obturatorului este de 8 ore, iar la temperatura 400oC - aproximativ 15 minute.

Cu toate acestea, acest lucru nu înseamnă că fotografia în regiunea infraroșu este în general imposibilă. În prezent, au fost propuse o serie de metode pentru a permite înregistrarea

Evaluați imaginile termice ale regiunii infraroșu îndepărtat, așa-numitele metode de imagistică termică. Prima dintre aceste metode a fost evaporografia (obținerea modelelor de interferență prin evaporarea termică a uleiului aplicat într-un strat subțire pe o membrană înnegrită), care a apărut pentru prima dată în 1929. Cu toate acestea, evaporografia nu a putut satisface toate cerințele majorității problemelor în obținerea de imagini termice și avea doar semnificație practică. În prezent, sunt utilizate predominant sistemele în care radiația infraroșie este focalizată pe elemente sensibile la mozaic care convertesc semnalele optice în semnale electrice. Aceste semnale sunt apoi amplificate și afișate ca imagine pe un dispozitiv de monitorizare video (similar unei imagini de televiziune), de pe care pot fi fotografiate în mod obișnuit.

Procesul fotografic pe straturi de halogenură de argint continuă să ocupe în prezent o poziție de frunte și, de fapt, exclusivă în toate acele domenii ale tehnologiei de înregistrare a informațiilor vizuale cu care suntem obișnuiți să asociem conceptul de „fotografie”. Aceasta este în primul rând fotografia ca atare (reportaj foto, artistic, de zi cu zi, amator, tehnic etc.) și cinematografie. Poziția excepțională a procesului cu halogenură de argint se explică prin faptul că niciun alt proces nu poate fi comparat cu acesta în ceea ce privește setul optim de proprietăți fotografice de bază.

1. În primul rând, este fotosensibilitatea. Prin modificarea condițiilor de fabricație, putem obține straturi de halogenură de argint cu aproape orice fotosensibilitate (în limita teoretic realizabilă). De exemplu, fotosensibilitatea setului Polaroid Type 410 este de un milion de ori mai mare decât cea a filmelor fotografice Mikrat (vezi Tabelul 13). Pe straturile de halogenură de argint au fost atinse cele mai înalte niveluri de fotosensibilitate.

2. Pe straturile de halogenură de argint este posibilă transmiterea liniară a unei game foarte largi de luminozități ale obiectelor și, din nou prin modificarea condițiilor de fabricație și prelucrarea chimico-fotografică a straturilor, este posibil să se varieze în limite foarte largi atât latitudinea fotografică. L și raportul de contrast γ al imaginii (de exemplu, pentru filmele negative de film γ 0,6, iar pentru filmele fotografice „aprinse” $\gamma = 20 \div 30$).

3. Este posibil să se apropie sensibilitatea straturilor de halogenură de argint de întregul vizibil și parțial de regiunea infraroșu a spectrului.

4. Procesul cu halogenura de argint face posibila obtinerea de imagini color de inalta calitate in culori naturale, precum si in orice tonalitate dorita.

Combinația acestor proprietăți face ca procesul cu halogenură de argint să fie unic și nu există nicio îndoială că va rămâne indispensabil în înregistrarea primară a imaginilor semitonuri pentru mulți ani de acum înainte.

Din faptul că procesul cu halogenură de argint s-a apropiat de limita naturală a fotosensibilității generale și spectrale, nu rezultă că dezvoltarea lui s-a încheiat. Ca urmare a numeroaselor studii, au fost conturate căi pentru progresul său ulterioar. Ele sunt practic după cum urmează.

Studiul mecanismului de sensibilizare spectrală a conturat modalități de sensibilizare optimă, uniformă a straturilor. Abordarea sensibilității „cuantice unice” a microcristalelor, așa cum arată studiile, este posibilă în principiu atunci când se utilizează emulsii pozitive directe care conțin centri unici extrem de mici (Ag_4). Ca urmare a resorbției stimulate de lumină a centrelor voalului, dezvoltarea fotografică a unor astfel de straturi duce direct la formarea unei imagini pozitive.

Cercetările din ultimii ani au evidențiat, de asemenea, modalități de îmbunătățire a caracteristicilor structurale și de claritate ale materialelor fotografice. În timp ce limita de fotosensibilitate a straturilor fotografice este calculată cu un anumit grad de acuratețe, limita proprietăților de claritate structurală este necunoscută și putem presupune că suntem încă departe de această limită. Principalele modalități de îmbunătățire a proprietăților de claritate structurală sunt următoarele.

1. Distribuția uniformă a microcristalelor în stratul de emulsie, care poate fi realizată prin utilizarea emulsiilor monodisperse cu cea mai densă împachetare de microcristale. Este clar că în acest caz trebuie luate măsuri pentru a proteja microcristalele de agregare și defectele de manifestare infecțioasă, în care nu numai microcristalele expuse, ci și învecinate sunt restaurate. Metodele promițătoare de astfel de protecție includ încapsularea microorganismelor

141

cristale de rocă în polimeri și alte învelișuri.

2. Utilizarea microcristalelor de o astfel de formă și cu astfel de proprietăți optice care pot asigura o dispersie minimă a luminii și chiar concentrarea acesteia. Cele mai interesante din acest punct de vedere sunt cristalele plate situate paralel cu substratul. Este posibil să se obțină microcristale plate în formă de lentile.

Un efect semnificativ în îmbunătățirea proprietăților structurale și de claritate poate fi obținut prin înlocuirea gelatinei din emulsiile fotografice cu un alt liant polimeric. După cum s-a menționat deja, indicii de refracție ai gelatinei și al halogenurii de argint sunt semnificativ diferiți (1,5 și, respectiv, 2,5), ceea ce determină reflectarea și împrăștierea luminii la limitele cristalului mediu. Dacă găsiți un liant cu un indice de refracție apropiat de cel al halogenurei de argint, atunci efectul împrăștierii luminii în stratul fotografic va fi redus.

Utilizarea sistemelor compoziționale merită și ea atenție. Astfel de sisteme includ emulsii fotografice care conțin microcristale compozite: epitaxiale, miez-înveliș etc. Principiul de bază al compoziției este absorbția luminii de către întregul cristal compozit, iar formarea granulei imaginii fotografice dezvoltate este doar o mică parte din ea (suprafață, înveliș etc.). Sistemele compozite vor face aparent posibilă întreruperea conexiunii tradiționale dintre dimensiunea unui microcristal de emulsie și fotosensibilitatea acestuia.

Perspective de dezvoltare a proceselor fotografice folosind materiale fotografice cu halogenură de argint

În secțiunea anterioară, am examinat posibilitățile fundamentale de îmbunătățire în continuare a caracteristicilor fotografice ale materialelor fotosensibile. În această secțiune vom încerca să ne imaginăm căile cele mai probabile pentru dezvoltarea fotografiei folosind materiale cu halogenură de argint. După cum am observat deja, nu ar trebui să ne așteptăm la o îmbunătățire semnificativă a caracteristicilor materialelor fotografice cunoscute, cel puțin în viitorul apropiat. Prin urmare, la prognoză, este necesar să se țină cont de principalii factori care determină dezvoltarea fotografiei: 1) cerințe specifice care determină

prins de scopul procesului; 2) deficit de argint; 3) reducerea costurilor; 4) eficacitatea tehnologică a prelucrării la obținerea unei imagini.

În ciuda faptului că caracteristicile realizate ale materialelor fotografice cu halogenură de argint sunt aproape de a fi realizabile teoretic, iar capacitățile potențiale ale materialelor non-argint, în special fotoconductoare, sunt departe de a fi epuizate, în perioada de prognoză, adică în următorii 20 de ani. După 25 de ani, fotografia pe straturi de halogenură de argint va ocupa, aparent, o poziție de lider printre procesele pur fotografice. Baza acestei concluzii este faptul că materialele cu halogenură de argint au o gamă unică de proprietăți care pot fi ajustate în limite largi atât în timpul fabricării acestor materiale, cât și în timpul procesului de obținere a imaginilor asupra acestora. După cum se arată mai sus, pot fi reglate proprietăți importante precum fotosensibilitatea (sensibilizare chimică și spectrală, condiții de expunere), rezoluție (tip de emulsie, procesare), contrast (tip de emulsie, procesare) etc.. Prin urmare, ținând cont de influența al primului factor, factorul „specificitate”, ar trebui să presupunem că majoritatea proceselor fotografice (cu

excepția celor discutate în secțiunea următoare) vor continua să utilizeze materiale fotografice cu halogenură de argint.

Această concluzie nu înseamnă deloc că fotografia cu halogenură de argint va continua să prevaleze în versiunea clasică. Această ipoteză este în contradicție clară cu cerințele de reducere a costului materialelor fotografice și a consumului de argint la fabricarea acestora. Desigur, acești factori vor avea un impact semnificativ asupra îmbunătățirii în continuare a materialelor cu halogenură de argint.

În prezent, s-au făcut multe în această direcție și, în primul rând, trebuie remarcate rezultatele obținute în reducerea cantității de argint aplicat. Această activitate se desfășoară în două direcții: obținerea de emulsii specializate și crearea de noi metode de prelucrare.

De interes practic sunt progresele în dezvoltarea emulsiilor specializate care conțin microcristale de halogenură de argint plate și emulsii miez-cochilie, menționate mai devreme în legătură cu posibilitatea de îmbunătățire a caracteristicilor de claritate.

143

teristic. Microcristalele plate obținute prin emulsionare controlată au o suprafață expusă la expunere, a cărei zonă depășește semnificativ aria feței laterale a microcristalului. Cu alte cuvinte, dimensiunile feței frontale (de lucru) a microcristalului depășesc semnificativ grosimea acestuia. Emulsiile pe bază de microcristale plate pot reduce depunerea de argint de 1,5-2 ori; utilizarea lor este promițătoare pentru producerea de filme cu raze X și materiale fotografice color.

În emulsiile miez-cochilie, microcristalele conțin mai puțin de 60% halogenură de argint, deoarece la prepararea emulsiei, o înveliș de halogenură de argint este crescută în jurul unui miez format dintr-o substanță fotosensibilă non-halogenură de argint, cum ar fi dioxidul de titan sau un alt fotoconductor anorganic cristalin. . Astfel de emulsii au o fotosensibilitate și o putere de acoperire relativ scăzute, iar conținutul de argint din ele este cu 40-50% mai mic.

Metodele de prelucrare care pot reduce eficient utilizarea argintului includ procesele de dezvoltare fizică non-argint și de transfer de colorant. Manifestarea fizică non-argintie face posibilă obținerea de imagini cu contrast destul de mare pe așa-numitele materiale fotografice cu conținut scăzut de argint cu un conținut redus de argint (de 5-10 ori) prin depunerea de la revelator pe centrele de argint ale metalului de bază: cupru, nichel , paladiu. Anumite succese au fost obținute în procese cu dezvoltare fizică non-argint pe materiale fotografice care nu conțin halogenuri de argint, ci compuși de titan, plumb și bismut ca compus fotosensibil. Evident, în acest caz avem practic de-a face cu un alt tip de fotografie non-argint, a cărei invenție a fost condusă de încercări de reducere a costului materialelor fotografice cu halogenură de argint prin reducerea depozitelor de argint sau de a găsi înlocuitori pentru halogenuri de argint. Și deși în prezent nu s-a găsit un substitut echivalent (fotosensibilitatea procesului cu manifestarea fizică a unei imagini

non-argintie este mult mai mică decât fotosensibilitatea procesului clasic), această direcție de căutare nu poate fi ignorată.

Procesele pe materiale cu halogenură de argint cu transfer de colorant sunt foarte promițătoare și vor primi, fără îndoială, o dezvoltare ulterioară. După cum se știe, primirea

144

Imaginile din aceste procese se datorează transferului de colorant din materialul negativ cu conținut scăzut de argint într-un proces de difuzie.

Încercările de a dezvolta procese care conțin elemente de halogenură de argint și fotografie fără argint nu trebuie ignorate. Cele mai bine dezvoltate procese de acest tip includ procesul Itek-RS (SUA). Materialul fotosensibil aici este un fotoconductor anorganic: oxid de zinc sau plumb, dioxid de titan sau sulfură de cadmiu. După expunere, ca urmare a creșterii constante a conductibilității electrice, pe material se obține o imagine latentă, care este prelucrată în două etape: mai întâi într-o soluție de azotat de argint până când ionii se depun pe imaginea latentă, apoi într-o soluție. a unui dezvoltator fotografic până când argintul este complet restaurat. Întreaga procesare nu durează mai mult de 15 s, deoarece sarea de argint nu se află în stratul de gelatină, ci într-o soluție (fotosensibilitatea realizată a procesului nu este mai mică de 14 unități GOST, rezoluția nu este mai mică de 400 mm"1 cu o valoare teoretic realizabilă de 1000 mm"1).

Există perspective reale în domeniul creșterii în continuare a vitezei de prelucrare a materialelor cu halogenură de argint. Deja astăzi, metodele de prelucrare cu o singură baie și difuzie sunt utilizate pe scară largă în practică. Metodele de prelucrare cu o singură baie într-o soluție de dezvoltare-fixare au făcut posibilă reducerea timpului de procesare a materialului fotografic de peste 10 ori. Prelucrarea cu transfer de difuzie a argintului sau colorantului este, de asemenea, pe termen scurt, dar chiar mai avansată din punct de vedere tehnologic. Este foarte important ca, în urma procesării de 1-2 minute, care nu necesită echipament special, să puteți obține atât imagini negative, cât și pozitive. Rețineți că materialele negative cu conținut scăzut de argint sunt adesea folosite în combinație cu procesarea prin difuzie. În acest caz, două obiective sunt atinse simultan: creșterea vitezei și a capacității de fabricație a prelucrării și reducerea consumului de argint la producerea materialului fotosensibil.

Dezvoltarea ulterioară a proceselor cu procesare prin difuzie, aparent, este asociată atât cu o îmbunătățire a caracteristicilor fotografice ale decorurilor fotografice (deși caracteristicile decorurilor fotografice produse în prezent sunt reglementate în limite largi), cât și cu

145

extinderea domeniilor de aplicare. Deja astăzi, pe lângă fotografia color și alb-negru pentru amatori și profesioniști, seturile foto sunt folosite și în scopuri speciale: în oscilografie, fotografie aeriană și

cercetare spațială. Procesele de difuzie sunt, de asemenea, utilizate pe scară largă în producția rapidă de forme de imprimare ale tipăririi operaționale. De remarcat că dintre toate metodele „rapide” de obținere a formelor (electrofotografice, termografice etc.), procesele de difuzie asigură cea mai înaltă calitate a formei (vezi Tabelul XIII din Anexă).

În cele din urmă, cea mai avansată metodă tehnologic de prelucrare a materialelor fotografice cu halogenură de argint este dezvoltarea termică, deși, după cum s-a menționat mai sus, această metodă are o utilizare foarte limitată, deoarece poate fi realizată numai pe straturi de emulsie dezvoltate termic special concepute în acest scop.

Astfel, în prezent, s-au găsit deja mijloace eficiente pentru a reduce conținutul de argint din materialele fotografice și a reduce costul acestora. Cu toate acestea, aceste probleme nu pot fi considerate în niciun caz rezolvate din cauza faptului că există o serie de domenii de aplicare a fotografiei în care aceste mijloace fie nu dau rezultatul dorit, fie pur și simplu nu pot fi utilizate.

Există un grup mare de procese pentru înregistrarea imaginilor pe materiale cu halogenură de argint, care sunt adesea grupate sub termenul „materiale fotografice în scopuri științifice”. Acest grup include raze X și radiografia, autoradiografia, microscopia electronică, fotografia nucleară etc. Nevoile de materiale fotografice în acest caz, exprimate în metri liniari de film, sunt destul de modeste (~ 8% din volumul total), dar consumul de argint în aceste procese semnificativ. Faptul este că atunci când se produc filme pentru radiografie și radiografie, stratul de emulsie, de regulă, este turnat pe ambele părți ale substratului; în plus, stratul are o grosime crescută și, prin urmare, un conținut crescut de argint. Alte materiale din acest grup conțin și mai mult argint. De exemplu, în experimentele spațiale, se folosesc camere de emulsie cu un volum de până la câteva zeci de litri. Când conținutul de halogenură de argint din emulsii pentru aceste experimente este de până la 80 mai. % consumul de argint este echivalent cu cursele

fluxul de argint în producerea de 5 • IO5 metri liniari de peliculă de 35 mm. Dacă adăugăm la aceasta că dezvoltarea și înregistrarea imaginilor în astfel de camere durează săptămâni, devine clar cât de mult mai rămâne de făcut pentru îmbunătățirea proceselor fotografice pe materiale cu halogenură de argint.

Perspective de dezvoltare a proceselor fotografice pe materiale non-argintie

Deși este greu de așteptat ca procesele fotografice non-argint să aibă aceeași versatilitate ca și fotografia cu halogenură de argint în viitorul apropiat, procesele fotografice care folosesc materiale non-argint vor continua, fără îndoială, să evolueze. Promițătoare în acest sens includ, în primul rând, acele procese în care materialele non-argintie concurează deja astăzi cu succes cu halogenurile de argint și în care ne putem aștepta la o utilizare și mai largă a materialelor

non-argint sau înlocuirea lor cu halogenuri de argint. Domenii principale de aplicare, vezi tabel. 14.

Înainte de a trece la o discuție despre perspectivele specifice pentru dezvoltarea fotografiei non-silver, este interesant de menționat următoarele.

În aproape toate etapele dezvoltării fotografiei non-argint, caracteristicile materialelor cu halogenură de argint au fost considerate criterii. În același timp, într-o serie de domenii de aplicare, concurența rezultată a determinat o îmbunătățire reciprocă a indicatorilor de performanță a ambelor tipuri de materiale fotografice.

De exemplu, sensibilitatea la lumină a straturilor electrofotografice, realizată în anii 1950, a fost suficientă pentru procesele de copiere și, prin urmare, electrofotografia, cu procesarea sa rapidă și avansată din punct de vedere tehnologic, a înlocuit în scurt timp procesele de copiere pe hârtii fotografice contrastante. Mai târziu, dorința de a folosi materiale electrofotografice pentru fotografie a dus la o creștere a sensibilității și rezoluției acestora de zece ori. La rândul său, necesitatea de a îmbunătăți fabricabilitatea prelucrării materialelor fotografice cu halogenură de argint a condus la apariția unor procese cu procesare rapidă cu o singură baie și difuzie.

Tabelul 14. Aplicarea filmelor fotosensibile cu halogenură de argint și non-argint

Filme fotosensibile aplicate

Zona de utilizare

pentru înregistrarea (înregistrarea) informațiilor

pentru copiere și reproducere

Fotografie profesională și amatoare, cinematografie

Fotografie aerospațială, astrofotografie

Radiografie medicală și tehnică

Imprimare, microelectronica

Halogenura de argint

Halogenura de argint

Halogenură de argint, electrofotografică (mai puțin de 10%)

Halogenură de argint (mai puțin de 25%), sisteme fotopolimerizante, fotocromice, diazografice, cu radicali liberi

Halogenura de argint

Halogenură de argint diazografică și veziculoasă (mai puțin de 5%)

Reprografie

Microfilmare (micrografie)

Sisteme de memorie optică, holografie

Halogenură de argint, electrofotografică (~10%)

Fotopolimerizare, fototermoplastic, halogenură de argint (aproximativ 25%)

Electrofotografic, diazografic, vezicular, halogenură de argint (mai puțin de 10%)

Diazografic, vezicular, fotocromic, halogenură de argint (mai puțin de 15%)

Botka, precum și materiale cu dezvoltare termică. Ca rezultat, filmele moderne cu halogenură de argint și fotoconductoare, de exemplu pentru microfilmare, au caracteristici fotografice și procesabilitate comparabile.

Am subliniat în mod repetat că cartea noastră este despre procese și materiale fotografice (nu de copiere). Cu toate acestea, având în vedere perspectivele dezvoltării ulterioare a matei fotosensibile non-argint

rial, este imposibil să nu menționăm, cel puțin pe scurt, acele domenii în care filmele și hârtiile de copiere fără argint sunt utilizate pe scară largă și vor fi utilizate . Materialele care nu sunt argintii sunt folosite în reprografie (procese de copiere), microfilmare, imprimare, holografie, în sistemele de memorie optică și în ieșirea de informații optice de la un computer.

În reprografie, consumul de materiale cu halogenură de argint este în prezent mai mic de 10%, deoarece aceste materiale sunt utilizate numai acolo unde este necesară copierea originalelor în ton. În principiu, originalele în ton pot fi reproduse pe materiale pentru procesul de migrare, dar toate avantajele sale se pierd atunci când se încearcă obținerea de material de migrare nu pe un substrat de film, ci pe unul de hârtie. Cu alte cuvinte, imaginea de migrare pe un material cu suport de hârtie are caracteristici apropiate de cele ale copiilor obţinute în procesul electrofotografic pe hârtie.

Reprografia utilizează: 1) procedeu direct de electrofotografie pe hârtii fotoconductoare, 2) procedeu indirect cu transfer de imagine de la materialul fotoconductiv matriceal pe hârtie simplă, 3) diazografia (fotocopiere) folosind hârtii și filme diazografice, 4) termografie folosind hârtii de copiere termică și termorezistente. Materialele de copiere sunt folosite în mod tradițional în anumite procese de copiere care valorifică la maximum proprietățile specifice ale acestor materiale. În plus, performanța existentă a acestor procese și

materiale este aproape de realizabilă teoretic. Prin urmare, în procesele de reprografie nu se poate aștepta nici la o extindere a gamei de materiale non-argintii, fie la o îmbunătățire vizibilă a proprietăților lor de performanță.

Merită să insistăm asupra rolului extrem de important al proceselor de microfilmare. Cert este că microfilmarea este în prezent unul dintre cele mai eficiente mijloace de așa-numită prelucrare a informațiilor tehnice. Materialele moderne pentru microfilmare fac posibilă creșterea densității înregistrării informațiilor de zeci de ori și, cel mai important, înregistrarea lor în formă optică (sau facsimil), adică necodificată.

149

După cum știți, volumul fluxului global de informații este în continuă creștere, astfel încât în lume se consumă tot mai multe materiale fotografice de înaltă rezoluție, atât cu halogenură de argint, cât și fără argint. Pentru a confirma acest lucru, vom cita doar câteva numere. La începutul anilor 1980, peste 1 miliard de cadre erau produse anual pe filme cu halogenură de argint numai în Statele Unite; Din ele au fost copiate aproximativ 35 de miliarde de cadre, inclusiv ~30% pe filme non-argint, restul pe hârtie cu mărire. Creșterea medie anuală a microfilmării în lume pentru perioada 1975-1985 a fost de 28% (în țările industrializate 33%).

Este clar că utilizarea atât de răspândită a micrografiei necesită cantități din ce în ce mai mari de materiale fotografice și, în plus, impune cerințe din ce în ce mai stricte asupra caracteristicilor acestora. Un rol important îl au indicatorii economici, care sunt mult mai buni pentru filmele fără argint. (Această împrejurare confirmă faptul că materialele fotografice non-argint au perspective de dezvoltare mai bune în microfilmare decât materialele cu halogenură de argint.)

Trebuie amintit că, pe lângă micrografie, există și procese non-fotografice pentru înregistrarea informațiilor cu o densitate mare de înregistrare, care s-au dezvoltat intens recent ; Cele mai interesante dintre ele sunt metodele de înregistrare pe discuri optice. Conform previziunilor făcute în anii 1970, până acum sistemele informaționale de pe discuri optice erau de așteptat să concureze serios cu sistemele micrografice pe halogenură de argint și materiale non-argint. Dacă s-ar întâmpla acest lucru, cererea mondială de materiale fotografice de înaltă rezoluție s-ar reduce semnificativ, deoarece micrografia reprezintă cel puțin 40% din toate filmele care nu sunt de argint consumate. Cu toate acestea, există acum toate motivele să credem că aceste prognoze s-au dovedit a fi eronate. Cert este că, după cum a demonstrat practica, atât sistemele, cât și metodele subiacente de înregistrare a informațiilor au propriile avantaje și dezavantaje, care împiedică utilizarea lor în același scop.

Avantajele sistemelor micrografice sunt: viteza mare de procesare a unor cantități mari de documente, ușurința de a lucra cu acestea în moduri manuale și automate, capacitatea de a obține rapid un număr mare de copii, comoditatea stocării de arhivare a informațiilor în

150

forma facsimil. Trebuie remarcat mai ales că aceleași microforme pot fi obținute pe diferite modele de echipamente. Același lucru este valabil și pentru funcționarea microformelor. De exemplu, în prezent există zeci de modele de camere cu film în format sau cititoare de microfișe. Unificarea acestui echipament este asigurată prin dotarea dispozitivelor cu un set de lentile interschimbabile care să permită obținerea de microforme cu o reducere de la 15 × la 200× sau obținerea de copii la dimensiunea normală a unui document din microforme care conțin informații cu o mai mare măsură. sau un grad mai mic de reducere.

Avantajele sistemelor de discuri optice includ: densitate mare de înregistrare, ușurință în preluarea informațiilor și capacitatea de a face modificări la informațiile înregistrate pe disc. Densitatea mare de înregistrare asigură că aproximativ 30 de mii de documente sunt înregistrate pe un disc optic cu diametrul de 305 mm (pentru comparație, menționăm că o microfișă cu o reducere de 72X conține imagini de 670 de documente). Viteza de căutare a informațiilor în rețele de aceeași capacitate pe discuri optice este de 2 ori mai mare decât pe microforme.

Luând în considerare aceste caracteristici, au fost identificate acum diferite direcții de utilizare a acestor sisteme. Sistemele micrografice sunt utilizate în cazurile în care matricele de informații sunt în circulație zilnică, când este necesară diseminarea informațiilor prin copiere și replicare. Discurile optice sunt folosite în cazurile în care matricea poate exista la singular, dar informațiile pot fi folosite simultan de mulți abonați. Cu alte cuvinte, domeniile de aplicare ale acestor sisteme informatice practic nu se suprapun.

În tabel 15 prezintă caracteristicile comparative ale sistemelor de stocare a informațiilor care funcționează pe microforme cu halogenură de argint (ultramicrofișe), discuri magnetice și discuri optice. După cum puteți vedea, materialele cu halogenură de argint au un avantaj față de altele în ceea ce privește densitatea de înregistrare în toate cazurile când vine vorba de densitatea de înregistrare la reproducerea semitonurilor. Dar, in plus, materialele fotografice cu halogenura de argint au un avantaj si sub aspect economic. Sunt de sute de ori mai ieftine decât discurile magnetice

151

și sunt comparabile ca cost cu cele optice. Echipamentul folosit pentru obținerea și operarea microformelor este mult mai simplu și mai ieftin decât alte opțiuni, astfel încât costul depozitării în dispozitivul pentru materiale cu halogenură de argint este mult mai mic. Această concluzie este și mai adevărată pentru sistemele bazate pe microforme non-argint.

Materialele cu halogenură de argint au încă un avantaj foarte important față de discurile optice: reținerea ridicată a informațiilor înregistrate. Potrivit informațiilor obținute recent, durata de stocare a informațiilor pe discuri optice în condiții de arhivă nu depășește 20

de ani. Să vă reamintim că informațiile despre filmele cu halogenură de argint sunt păstrate timp de 100 de ani.

Tabelul 15. Caracteristicile tehnice și economice ale sistemelor de înregistrare și stocare a informațiilor

Sistem de înregistrare și stocare a informațiilor Suportul de informații Caracteristici
densitate de înregistrare, cost de stocare Mbit/mm2
, cenți/Mbit
înregistrare binară cu reproducere gradată pe suportul media din dispozitiv
Microfișă facsimil pe film cu halogenură de argint 0.5-1.05.00.011.2-17
Disc magnetic digital0.0160.0165.0500
Disc optic0.60,60.03– -0.1550–100

În microfilmare (micrografie), progresul în dezvoltarea materialelor non-argintii este deosebit de remarcabil, iar perspectivele de îmbunătățire ulterioară a acestora sunt cele mai favorabile. Până de curând, pentru duplicarea microformelor se foloseau filme non-argintioase (diazografice, veziculare), în timp ce microformele originale, adică microformele de prima generație, erau obținute pe filme cu halogenură de argint. Dar chiar și cu această utilizare limitată a filmelor non-argint pentru microfilmare în țările industrializate la începutul anilor 1980

ponderea filmelor cu halogenură de argint în volumul total nu a depășit 25–30%. Odată cu crearea filmelor fotoconductoare de înaltă rezoluție, consumul de materiale non-argintii în micrografie a crescut și mai mult, deși timp de un număr de ani utilizarea filmelor fotoconductoare pentru obținerea microformelor de prima generație a fost limitată de lipsa echipamentelor disponibile comercial. .

În prezent, au fost dezvoltate camere cu film de înaltă performanță pentru filme fotoconductoare rulou și format, ale căror caracteristici de performanță au fost îmbunătățite semnificativ (vezi Secțiunea 6), deși aceste materiale nu au atins încă limita în ceea ce privește fotosensibilitatea și rezoluția. Prin urmare, se poate presupune că dezvoltarea ulterioară a proceselor fotografice pe filmele fotoconductoare este asociată cu o îmbunătățire a caracteristicilor acestora, în principal a fotosensibilității. Creșterea fotosensibilității, chiar și cu prețul reducerii rezoluției de 2-3 ori, va extinde semnificativ domeniul de aplicare al filmelor fotoconductoare la fotografiere.

Când vorbim despre îmbunătățirea fotosensibilității filmelor fotoconductoare, ne referim nu numai la tehnici tradiționale, de exemplu, introducerea unui strat de injecție, sensibilizare spectrală etc., ci și la metode fundamental noi de producere a materialelor. Un exemplu în acest sens este filmul de înaltă sensibilitate și de înaltă rezoluție „KS” gradele 101, 102, 103 de la Coulter Information System (SUA), în care un fotoconductor anorganic binecunoscut, sulfură de cadmiu CdS, a fost folosit pentru a obține stratul fotosensibil. La producerea unui material fotoconductor bazat pe acesta folosind metode

tradiționale - depunerea în vid pe un substrat sau depunerea unui fotoconductor într-un liant dintr-o dispersie - rezoluția acestuia în timpul dezvoltării lichide nu a depășit 100 mm"1 cu o sensibilitate suficientă pentru copiere folosind electrofotografie.

Filmul „KS” conține microcristale de sulfură de cadmiu cu o dimensiune transversală de 70 nm și o lungime de 350 nm, orientate perpendicular pe substrat. Între substrat și stratul fotoconductor cristalin există un substrat de oxid de indiu, care efectuează

funcțiile atât ale acoperirii electrice conductoare, cât și ale acoperirii prin injecție. Grosimea mică a straturilor favorizează formarea structurilor conductor-fotoconductoare elementare, în care fiecare microelement acționează ca o fotodiodă. Potențialul de lucru al stratului nu depășește 50 V; aceasta este de 2-3 ori mai mică decât cea a filmelor de migrare slab încărcate și de 10-15 ori mai mică decât cea a materialelor fotoconductoare de copiere. Fotosensibilitatea filmelor „KS” nu este mai mică de 1000 m2/J, ceea ce este cu un ordin de mărime mai mare decât sensibilitatea filmelor cu halogenură de argint și non-argint pentru microfilmare. Rezoluția atinsă a acestor filme este de 800 mm"1 cu o rezoluție teoretică de 10.000 mm"1. Din cele de mai sus reiese clar cât de mari sunt capabilitățile potențiale ale materialelor fotografice non-argintii utilizate în microfilmare.

În tipărire, concurența dintre materialele cu halogenură de argint și cele care nu sunt argintii se desfășoară de zeci de ani. Drept urmare, materialele non-argintii au câștigat un avantaj în placă și, în mare măsură, în procesele de reproducere a plăcilor fotografice. În prezent, aceste materiale sunt folosite în mașinile de fototipărit, la obținerea de formulare foto din originale text, forme de imprimare operațională și unele tipuri de tipărire forme de tipar mare. Cu toate acestea, în cazul în care este necesară înregistrarea primară a unei imagini pe un material fotosensibil (proces de fotoreproducție) sau reproducerea originalului cu ilustrații în tonuri, se folosesc în continuare filme cu halogenură de argint. Și, cel mai probabil, vor continua să fie folosite în aceste scopuri în viitor. La obținerea de duplicate ale fotoformelor sau la producerea de fotoforme prin fotocompunere, se pot utiliza filme diazografice și alte filme pe bază de compuși organici, de exemplu, filme fotocromatice sau filme care conțin substanțe în stratul fotosensibil care formează un complex de transfer de sarcină (a se vedea tabelul XIV din apendice).).

Înregistrarea holografică (holografia) este al doilea proces fotografic real, în care atât materialele cu halogenură de argint, cât și cele care nu sunt de argint sunt utilizate pe scară largă. Nu există nicio îndoială că straturile de halogenură de argint nu sunt mediul optim de înregistrare pentru holografie din mai multe motive, principalele fiind prezența granularității și efectul de difracție scăzut.

activitate. Cu toate acestea, straturile de halogenură de argint fără granule utilizate pentru holografie au o fotosensibilitate comparabilă cu sensibilitatea mediilor holografice non-argint. În plus, utilizarea

unor surse de lumină atât de intense precum laserele nu necesită o fotosensibilitate ridicată.

În ultimii ani, filmele fototermoplastice au ocupat un loc semnificativ în producția industrială de materiale pentru holografie, ale căror proprietăți specifice fac posibilă considerarea utilizării lor ca fiind cea mai potrivită pentru aceste scopuri în viitor. Aparent, materialele fotocromatice au și perspective reale pentru o utilizare mai largă în înregistrarea holografică. În prezent, utilizarea generală a mediilor de înregistrare holografice este mică, dar stocarea informațiilor sub formă de microfilm holografic este foarte atractivă și, prin urmare, este probabilă o utilizare industrială mai mare a mediilor de înregistrare non-argint pentru holografie.

Sistemele de memorie optică, în special pentru computere, bazate pe materiale fotosensibile sunt încă în stadiul de implementare, astfel încât nu este posibil să se judece în mod rezonabil care materiale fotosensibile vor fi utilizate în principal. Este evident, totuși, că aici ies în prim plan cerințe precum densitatea mare de înregistrare a informațiilor, viteza și posibilitatea utilizării repetate. Pe baza acestor considerații, putem concluziona că această zonă va trebui să se dezvolte folosind materiale non-argintioase.

Deci, am încercat să răspundem la întrebarea ce materiale fotografice vor fi folosite pentru a dezvolta anumite procese fotografice. Dar întrebarea poate fi pusă într-o formă mai generală: procesele fotografice își vor păstra poziția de lider printre metodele de înregistrare a informațiilor optice? Desigur, este posibil să apară modalități fundamental noi de înregistrare a informațiilor, compararea cu care procesele existente este pur și simplu imposibilă. Comparând procesele fotografice moderne cu metodele nefotografice cunoscute de înregistrare a informațiilor, de exemplu, înregistrarea video magnetică, înregistrarea informațiilor pe discuri optice etc., nu se poate să nu remarce că în viitorul apropiat aceste metode

nu vor putea concura cu procesele fotografice în întregime. Trebuie remarcat, totuși, că mediile magnetice pot concura cu filmele cu halogenură de argint în domenii precum cinematografia și radiografia. Înregistrarea video magnetică a înlocuit deja în mod vizibil cinematografia profesională, cel puțin în sistemele de televiziune. Utilizarea filmelor color în cinematografia de amatori a scăzut, de asemenea, semnificativ, cu o creștere corespunzătoare a cererii de casete video și videocasete. Există, de asemenea, perspective foarte reale pentru utilizarea mediilor magnetice pentru stocarea informațiilor obținute în procesele de radiografie și radiografie.

În concluzie, remarcăm că pe paginile publicațiilor comerciale străine apar din când în când reportaje senzaționale despre înlocuirea fotografiei cu una dintre metodele non-fotografice de înregistrare. Cu toate acestea, ei nu au găsit încă o confirmare convingătoare și nu au dat motive serioase pentru a vedea în ei o posibilitate reală de a înlocui fotografia în forma ei actuală.

Tse **

Sarcina cu care se confruntă autorii cărții nu a fost doar să analizeze evoluția procesului fotografic de la stadiul inițial până la stadiul modern, caracterizat printr-o varietate de metode, materiale și capacități tehnice, ci și să prezică dezvoltarea ulterioară a fotografiei. În ce măsură am reușit rămâne să judece cititorul. În concluzie, considerăm că este necesar să subliniem două puncte.

Pe de o parte, pare sigur că în viitorul previzibil procesul fotografic se va baza în principal pe materiale cu halogenură de argint. Pe de altă parte, este foarte probabil ca în viitorul foarte apropiat să fie create procese fotografice fundamental noi, folosind materiale non-argint (pe lângă cele existente), adică arsenalul de fotografie „fără argint” să fie completat.

Aplicație. CARACTERISTICI ALE UNOR MATERIALE FOTOGRAFICE ȘI FILMATE.

Tabelul I. Caracteristicile fotografice ale filmelor fotografice și de film alb-negru

Film	Sensibilitate la lumină 8, unități. GOST Coeficient de contrast γ Densitatea optică a vălului D0 Latitudine fotografică L Rezoluție Rt mm”1 Limită de sensibilizare a undelor lungi, HM	
	recomandat maxim	
	de uz	general
„Foto-32”	320.81.40.5–0.11.5116	
„Foto-65”	650.81.40.1–0.161.592	
„Foto-130”	1300.81.40.16–0.251.575	
„Foto-250”	2500,81,40,2–0,31,570–	
	Filme	fototehnice
FT-10	11–22l,3±0,131,80,101,2100530	
FT-11	16–32l,0±0,l1,20,101,5100570	
FT-12	65–130l,0±0,11,30,151,575670	
FT-20	4–112,2±0,22,80,10–100510	
FT-22	82,2±0,22,80,10–100570	
FT-30	1–23,23,60,10–116670	
FT-31	8–223,23,60,10–116570	
FT-32	16–323,23,60,10	_116670
FT-41	0,5–1.04.54.00.08–183570	
FT-101	0,2–0,410,0–.0,10–-250580	
FT-111	1.810.0–-0.10	170560
FTF-2	1803.75.00.10–·100570	

gj Tabelul I (sfârșit)

Film	Sensibilitate la lumină Unități S4. GOST Coeficient de contrast y Densitatea optică a vălului D0 Latitudine fotografică L Rezoluție H4 mm ""1 Limită de sensibilizare a undelor lungi, HM
	recomandat maxim
	Filme de înaltă rezoluție pentru microfilmare
„Mikrat 200”	2.73.0з,o0.04–196580
„Mikrat 300”	2.53.54.00.04–300–*≡4
„Mikrat MF”	2.63.03.70.06–270570
„Mikrat 900”	0.2z,o3.50.08–680660

Filme

KH-I 110,65–0,13–135650
KN-2 320,65–0,16–100650
KN-3 900,65–0,20–78650
HK-I 320,65–-0,06 120670
NK-2 900,65–-0,10–110670
NK-3 2500,65–-0,12 90670
NK-4 350–5000,65 0,20–_75670
Sunet ZT-8 16–323,64,00,08–240570

Film reversibil

04-45 451,62,20,061,05110660
04-180 1801.6–0.080.995680
O4-T-45 451,251,40,071,0585650
O4-T-180 1801.51.80.120.973720
O4-T-45 M 451.41.80.080.985650

Tabelul II. Caracteristicile hârtiei foto de uz general alb-negru

Hârtie fotografică Grup de gradații Sensibilitate la lumină St unități GOSTInterval de expunere util Densitate optică maximă

hârtie netedă hârtie în relief
lucios semi-mat mat lucios semi-mat mat
„Unibrom” Soft8–15Nu mai puțin de 1,41,80–1,25———
Semi-moale8–151.2–1.31.801.301.251.401.201.20
Normal8–151,0–1,11,801,301,251,401,201,20
Contrast5–100,8–0,91,801,301,251,401,201,20
Deosebit de contrast 2–5 Nu mai mult de 0,71,80–1,25———
„Unibrom” cu statul- Soft 11–15 Nu mai puțin de 1,41.851,51.351,50——
semn pa- Semi- moale 11–151,2–1,31,851,51,351,50——
calitate Normal11–151.0–1.11.85–1.351.50——
Contrast7–100,8–0,91,85–1,351,50——
„Photobrom” Semi-moale5–201,2–1,31,801,301,251,401,201,20
Normal5–201,0–1,11,801,301,251,401,201,20
Contrast5–200,8–0,91,801,301,251,401,201,20
Deosebit de contrast 2–5 Nu mai mult de
0,71,801,301,251,401,201,20
„Novobrom” Semi-moale5–151,2–1,31,801,301,251,401,201,20
Normal5–151,0–1,11,801,301,251,401,201,20
Contrast 5–150,8–0,91,801,301,251,401,201,20

g Tabel T (capăt)

Densitate optică maximă

Hartie fotografica Grupa de gradati Sensibilitate la lumina S. unitati GOSTIntervale utile de expunere hârtie netedă hârtie în relief
lucios semi-mat mat lucios semi-mat mat
„Novobrom” cu stare- Semi-moale 7–121,2–1,31,851,401,301,501,401,30
act de dar Normal7–121.0–1.11.851.401.301.501.401.30
contrast de calitate7–120,8–0,91,851,401,301,501,401,30
<Portret cu brom" Soft3–151,4–1,71,801,351,251,401,201,20

Semi-moale3—151.2—1.31.801.351.251.401.201.20
Normal3—151,0—1,11,801,351,251,401,201,20
Contrast3—150,8—0,91,801,351,251,401,201,20
„Portret în romance” din oraș - Soft5—101,4—1,71,851,401,301,501,401,30
stat Signa- Semi-soft 5—101.2—1.31,851,401,301,501,401,30
calitate com Normal5—101.0—1.11.851.401.301.501.401.30
„Kontabrom” Semi-soft0.8—2.01.2—1.31.80—.1.251.40——
Normal0.8—2.01.0—1.11.80—.1.251.40——
Contrast0,8—2,00,8—0,91,80—1,251,40——
„Kontabr” cu statul- Semi-soft1.0—2.01.2—1.31.85—.1,301.50——
act de dar Normal1.0—2.01.0—1.11.85—.1.301.50——
calitate Contrast1.0—2.00.8—0.91.85—1.301.50——
„Iodokont” Soft Nu mai puțin de 0,2 Nu mai puțin de 1.41.80—1.251.40—1.20

Tabelul ɪɪɪ, Compoziția dezvoltatorilor fotografici speciali, g/l

Componenta Pro-revelatoare lipire Pentru micrografie Reproducere
hidrochinonă (NIKFI)fenidonă-hidrochinonă Ka 433GC-Bfenidonă-hidrochinonă Nr. 438metol-hidrochinonă Kv 365D-41D-42OR WO-76ORWO-80⅛normal Ka 3
Hidrochinonă 2515121517.155 1097
Metol ————-1.92242.515
Phenidon —10110——-———.
Amidol ———.—— ——. __
sulfit nat- 355050503310010075507550
ria (anonim) sodă caustică 2818101816____
Bromură de potasiu 25—— ——.—25 ml 4925 ml
10%-dar- 10%-dar-
a-a planta-
planta-
Hoț de sifon
calcivor
— —————5—25100
nirovanny
Borax ——————25—————
alaun de potasiu —18—1820———————
Benzotriazol ——-———-110 ml10 ml—™—- —-
0,2%-0,2%-
cu picioare
Soluție de tiosulfat de sodiu

10010070-1256060———60——

Tabelul IV. Caracteristicile filmelor dezvoltate termic pentru microfilmare

Film	Sensibilitate la lumină St m2/J	Coeficient de contrast y	Rezoluție Rt mm-1	Film	Sensibilitate la lumină S. m2/J	Coeficient de contrast V	Rezoluție Rt mm”1
„Dry-Si Iver 7869” (ZM Co., SUA)	50	350	3.0	„Silnova” (Canon Corp., Japonia)	55	300	4—5

„Kodak 784” (Eastman Kodak Co., SUA)   355003,5 „Mikrat-300”* (URSS) 1003004,0

* Filmul este dat pentru comparație

Tabelul V. Caracteristicile truselor foto ale procesului într-o singură etapă alb-negru de la Polaroid (SUA)

Kit foto   Scop Sensibilitate la lumină Unitate St. ASA Cea mai mare densitate optică Hmax Densitatea optică a vălului D9 Rezoluție Rt MM-1 Limită de sensibilizare, HM Timp de procesare, s
42   Pentru producția de imprimeuri semiton 2001,60,0222—2865015
47   La fel3 0001.60.0222—2864015
55 P/N   Pentru producția simultană de negativ și pozitiv 501,70,0214—1767020
46-L Pentru producerea de transparente semiton8002,40,0532—35630120
413   Pentru fotografiere în raze infraroșii8001,60,0222—2892015
410   Pentru înregistrarea de pe ecranele osciloscopului10 0001.60.0222—2867015
TL-X Pentru detectarea cu raze X3 000————45

Tabelul VI. Caracteristicile materialelor fotografice în timpul înregistrării în modul olografic

Material foto   Fotosensibilitate Sp0+ +0,85, unități IO-2. GOST Coeficient de contrast VOdensitatea optică a voalului D9
      Dimensiunea medie a microcristalului, µm   Grosimea stratului de emulsie, MKM
„Mikrat VR” (URSS)   4,33,60,220,0711
„VRL” (URSS)   1.55.00.080.0510
„Kodak HR” (SUA)   1.55.50.040.046
„Kodak MR” (Anglia)   1.54.50.040.068
Agfa-Gevaert (Germania-Belgia)
8E 56   1.35.00.060.055.5
IOE   66.506,00.050,0548
IOE 70   605.50.100.08510—11
Agfa-Mickromask (Germania—Belgia)   1.15.00.040.0858
ORWO-LO-2 (GDR) 1,24,30,04

Notă. Rezoluția filmului sovietic „Mikrat BP*R≡ 2000 mm'1, restul R - 3000 mm -1.

g

Tabelul VII. Caracteristicile de performanță ale materialelor fotografice pentru holografie

Material   Limita de sensibilitate a undelor lungi, HLungimea de unda la determinarea fotosensibilitatii, HRezolutie Rt MM~^1 Fotosensibilitate * St m2/JEficienta de difractie η,%
„FPGV” (URSS)   70063330008018
„Mikrat 300” (URSS)   640633300——
„Mikrat 900” (URSS)   6406338003—8—
„VRL” (URSS)   64063328001610
„Kodak 649 F” (SUA)   70063350001.621
„Kodak SO-243” (SUA) 75063350080015

Agfa-Gevaert (Germania—Belgia) 14C 75 75069415006007
IOE 56   560480280080—
IOE 70   70063328008010
8E 56   5604805000828
8E 70   7006335000822
8E 75   75069450001045
14C 70   7006331500600—

* Sensibilitatea a fost determinată folosind un criteriu de densitate optică de 0,5.

Tabelul V∏I. Caracteristicile filmelor străine pentru procesul fotografic color

Filme   Sensibilitate la lumină St units GOST, nu mai puțin Gradient mediu (contrast) Granularitate pătratică medie Op ×10 0 0
Coeficient de transfer de modulație Tv (la v=30 mm^^^ɪ)
Filtru verde Filtru roșu Filtru vizual Strat sensibil la verde Strat sensibil la roșu
Negativ
„Kodak 5247” (Eastman Kodak Go., SUA) „Kodak 7291”   1250,50——50.650,32
(Eastman Kodak Go., SUA) „Kodak 5294” 1000,50——50.650,32
(Eastman Kodak Go., SUA) „Agía XT-125” 4000,50   60.650,30
(Agfa-Gevaert, Germania—Belgia) „Agía XT-320”   1250,50——50,700,35
(Agfa-Gevaert, Germania—Belgia)   3200,50——60,650,30
„Gevaert 683” (Gevaert, Belgia) *Gevaert 693”   1250,50——50.700,35
(Gevaert, Belgia)   3200,50——60,700,35
NG-3 (0RW0, GDR) „Fuji 8511”   640.591115100.450.35
(Fuji Photo Film Co., Japonia)   1250,50   —50.650,32

Tabelul VIII (sfârșit)

Filme

„Fuji 8512”

(Fuji Photo Film Go., Japonia) „Fuji 8514”

(Fuji Photo Film Co., Japonia)

PG-7 (0RW0, GDR)

PC-12 (0RW0, GDR) „Kodak 5384”

(Eastman Kodak Go., SUA)

„Kodak 5380”

(Eastman Kodac Co., CIIIA)

„Gevaert 982” (Gevaert, Belgia)

„Fuji 8816”

(Fuji Photo Film Co., Japonia) „Inducolor G-9H”

(India)

Gradient mediu (contrast)   Granularitate RMS OpX 1000
      Coeficient de transfer de modulație Tv (la v=30 mm~1)
      Filtru verde Filtru roșu Filtru vizualStrat sensibil verdeStrat sensibil roșu
0,50 ——60.650,30
0,50 ——60.700,30

Pozitiv

3.1 ——100.320,20
3,3 ——120.750.40
3,8 ——70.850,70
3,0 ——70.850,70
3,8 ——70.800,70
3,8 ——70.900,70
3,8 ——70.800,70

Tabelul IX. Caracteristicile filmelor fotografice și filmelor domestice pentru procesul fotografic color

Film

Fotosensibilitate 8, unitati. GOST

Densitatea optică D a vălului pentru lumină Coeficientul de echilibru al filtrului de contrast în vegetație,

———

nu mai mult de | |

verde rosu

Latitudinea fotografică L

Rezoluția Rf MM-ɪ

Filme negative

DS-4 450.75—0.850.120.250.250.251.263
TsND-32   320,6-0,80.100,75—1,10,25—0,450,300,958
TsNL-32   320,6—0,80.100,75-1.10.25—0,450,300,958
TsNL-65   65—0.100.75—1.10.40—0.600.301.563
TsNL-90   900.65±0.050.120.75—1.050.40—0.600.301.363
TsOD-16   16—0,20————45
TsOD-32   32—0,20————45

DS-5M

LN-7

LN-8

Negative de film

22 Gradient mediu 0,5–0,70.120,75–1,10,25-0,50,301,5
65 0,55–0,650,100,75–1,10,30–0,600,301,5
100 0,55-0,650.100,75–1.10.30-0.600.301,5

58

63

70

Filme contratip

KP-M I 0,2I 1,0–1,15 I0,1 IIII1-2I73
KP-6 I ODI 1.0–1.15 Iod I - II - I 1.2 I70

Filme pozitive

TsP-8R 0,2–0,753,0-3,60,4–0,18——15
TsP-11 o.32.7–3.30.4–0.15———

S

Tabelul IX (sfârșit)

Film

Unități de fotosensibilitate St GOST

Raportul de contrast γ

Echilibru de contrast, nu mai mult

Densitatea optică D a vălului din spatele filtrului

Latitudinea fotografică L

Rezoluție Rt mm~1

verde rosu

Filme de film reversibile

TsO-22 221,8–2,2o.3 Densitatea optică a fiecărui strat
Interval de expunere util
maxim 2,2 minim 0,25
1.270
TsO-32D 321.8-2.20.32.20.251.253
TsO-65 651.9–2.4o.z2.30.251.268
TsO-90L 901.8–2.20.32.20.251.253
TsO-180L 1801.6–1.80.32.10.251.258
TsO-T-90L 901,60,22,30,201,182

Tabelul X. Caracteristicile filmelor pentru înregistrarea fototermoplastică

Film Ramă luminoasă in Sensibilitate spectrală. HM Resolution mode-HOCTb Rt MM”1
Ortocrom, tip I (URSS)   S0 2= 0,3—1,5 πκ-1•c→300—380600—800
Pancrom, tip II (URSS)   •S0,'2= 8 λk^1•c^1400—650500
FTPP-2 (URSS)   5λ'=4oβ = °>5 m2/J400; 633270
FTPP-2R (URSS)   7/8=400 = 1-° m2/DZh440300
Film de înregistrare fotoplastic (Scott Graphie Inc., SUA)   s0.2= 2 J∞^1•C1500—600500
Microx (Microx Corp, SUA)   50,2= 1•5 j1k^1'c~1450—600900
PT-IOOO (Kalle AG, Germania)   •5λ=440 = 1-5 M2/DZ4401000

Tabelul XT. Caracteristicile filmelor electrofotografice pe bază de fotoconductori organici

filmului   este necesară pentru a obține o imagine cu o densitate de 1,0 Densitatea maximă a imaginii Rezoluție fì, MM~1 Factor de reducere recomandat la fotografierea unui original în linie
Panacopy, Panafax (Matsushita Electric Co., Japonia)   20 lx s1.21506 : 1
Film TEP P5-003 (Scott Graphie Inc., SUA)   38 lux s1.418024: 1
M-14L, CP - 25L (URSS)   80 µJH X cm-21D30024: 1
SO 101, SO 102, (Eastman Kodak Co., SUA)   5 µJH Xcm"23.040070: 1
Ektavolt (Eastman Kodak Co., SUA)   Fără informații 2.0-3.0800100: 1
X5-008 (James River Graphie, SUA)   33 µJH Xcm"22.2500-700100: 1
Statigraf (James River Graphie, SUA)   25 µJ X Xcm"22,0-2,5800100: 1

Tabelul XII. Caracteristicile filmelor negative cu halogenură de argint pentru micrografie

Film Sensibilitate la lumină 8, unități. GOST Rezoluție R, mm ɪDensitatea optică a vălului D0 Contrast uZona cu cea mai mare sensibilitate spectrală, nm
„Mikrat 200” (URSS)   2.71960.043.0570—580
„Mikrat 300” (URSS)   2.53000.044.0660—680
„Mikrat N” (URSS)   4.53150.042.8570—580
„Mikrat MF-N” (URSS) 4.53150.043.5650—680
„Mikrat 900” (URSS)   0,026800,083,0630—660
„Mikrat VE”* (URSS)   103200.052.5520—540
„Monomicroi SL” (Canon Corp., Japonia) 3.03000.042.1520—560
„NP-N” (Fuji Photo Film Co., Japonia) 3.55400.023.4640—690
„Copex pan Rapid” (Agfa-Gevaert, Germania—Belgia) 152900.042.7570—580
„Tur N” (Konishiroku Photo Co., Japonia)   4.52900.013.0520—595
MA-51 (0RW0, GDR)   5.01900.082.5520—540
MA-8 (0RW0, GDR)   1.03600.072.5520—540

* Proiectat pentru copierea de pe ecranele CRT.

Tabelul XIII. Caracteristici ale formelor de imprimare de imprimare rapidă produse pe materiale fotosensibile

Placă fotosensibilă   Proces de copiere Rezoluție R, MM- ɪCirculație-CTO YK OCTl mii de imprimări
« Gevacopy >> (Agfa-Gevaert, Germania-Belgia)   Difuzie pe materiale cu halogenură de argint 5010

„Agfa Carborapid >> (Agfa-Gevaert, Germania—Belgia)   Same5010
Rapith   »6010
„Ektalith” (Kodak Co., SUA)   „6012
„Kodak-Verifax”, (Kodak Co., SUA)   „502
„Ozasol” (KalleA. G., Germania) Diazografic 3010
„Dialith D” (Mapa-Voss, Germania)   Same3020
„Tartan E-negativ” (“ZM” Co., SUA)   „255
„Tartan 60” (“ZM” Co., SUA)   „1530
„3M-R” („ZM” Co., SUA)   „2030
„Elfasol” (KalleA. G., Germania) Electrofotografic pe un fotoconductor organic 1210 - 100
„Elfasol L6” (Kalle A. G., Germania)   La fel 1510
„Colitha” (Itek Graphie, SUA)   „102
„Electrostatic 175” (Itek Graphie, SUA)   Electrofotografie pe un fotoconductor anorganic 120,5
„Pyrofax” (“ZM” Co., SUA)   Electrofotografie pe oxid de zinc 105-10
XL („ZM” Co., SUA)   Același 60,5
ESP (ZM Co., SUA)   »102
KS (Coulter Information System, SUA)   Electrofotografie pe sulfură de cadmiu2010

171

Tabelul XIV. Caracteristicile materialelor de copiere non-argintie pe bază de compuși organici

Material (sistem)   Sensibilitate la lumină, cm2/J Sensibilitate spectrală, Rezoluție H fí, MM-1
Sisteme cu formarea unui complex de transfer de sarcină   IO5 până la 500 până la 100
Compoziții fotopolimerizante   IO3 până la 400100
Fotoreziste   la IO-IO3 până la 400 până la 1000
Materiale fotocromatice   I-IO2 până la 550 până la 5000
Sisteme biocatalitice IO2 până la 50010-20
Filme Diazo   de la 1-20 la 400 la 1500
Materiale veziculare 10-20 până la 400 până la 200

Lectură recomandată

Cheltsov V. Ci Vongard S, A. Manifestarea culorii. M.: Art, 1958. 288 p.

Shashlov V. A., Sheberstov V. I. Teoria procesului fotografic. M.: Carte, 1965. 320 p.

Chibisov K.V. Chimia emulsiilor fotografice. M.: Nauka, 1975. 328 p.

Kirillov N.I. Fundamentele proceselor de prelucrare a filmului și a fotografiilor. M.: Art, 1977. 192 p.

Fundamentele tehnologiei materialelor fotografice fotosensibile/Ed. V. I. Sheberstova. M.: Chimie, 1977. 368 p.

Kirillov N. I. Materiale de înaltă rezoluție pentru holografie și procesele lor de prelucrare. M.: Nauka, 1979. 136 p.

Slutskin A. A., Sheberstov V. I. Reprografie. Procese și materiale. M.: Carte, 1979. 256 p.

Chibisov K.V. Natura sensibilității fotografice. M.: Nauka, 1980. 403 p.

Vendrovsky K.V., Weitsman A.I. Structurometrie fotografică. M.: Art, 1982. 236 p.

Kartuzhansky A. Jl.i Krasny-Admoni L. V. Chimia și fizica proceselor fotografice. L.: Chimie, 1983. 136 p.

Vasilevsky Yu. A. Fotografie fără argint. M.: Art, 1984 128 p. (Biblioteca fotografică de masă).

Zhurba Yu. I. Laborator de prelucrare a materialelor fotografice. M.: Art, 1984. 176 p. (Biblioteca fotografică de masă).

Slutskin A, A. Fotografie electrostatică. M.: Art 1984. 128 p. (Biblioteca fotografică de masă).

Chibisov K.V. Fotografie generală. M.: Art, 1984. 446 p.

Conţinut

Publicație de știință populară

Chibisov

Constantin Vladimirovici

Şeberstov

Valentin Iosifovich

Slutskin Anatoly Alexandrovici

FOTOGRAFIA ÎN TRECUT,

PREZENT ȘI VIITOR

Aprobat pentru publicare

Colegiul editorial al seriei

„Literatura științifică populară”

Academia de Științe a URSS

Editorii N. G. Yavkina și T. N. Teplova

Artistul V. D. Semenchenko Editor artistic V. S. Filatova Editor tehnic A. M. Satarova corector V. A. Aleshkina, N. A. Nesmeeva

IB nr. 31648

Dat în funcțiune 28.07.87

Semnat la presa 22.01.88

T-00021. Format 84×1081/32

Hârtie carte-jurnal

Căștile sunt obișnuite

Imprimeul este ridicat

Stil cuptor l. 9.45. Stil Cr. utt. 9,66

Uch.-izd. l. 10.3. Tirajul este de 50.000 de exemplare. Tastați Zac. Nr 952. Pret 45 copeici.

Editura Ordinului Steagul Roșu al Muncii „Nauka”

117864 GSP-7, Moscova V-485

Strada Profsoyuznaya, 90

Tipografia a 4-a a editurii „Nauka” 630077, Novosibirsk, 77, Stanislavsky, 25

Tipărit la tipografia a 2-a a editurii Nauka. Ordinul 1934 121099, Moscova, 2-99, Shubinsky ∏ep., 6

45 de copeici

$\frac{1}{8}\frac{1}{8}$

s Irai ɔ

Fotografia modernă este utilizată pe scară largă ca mijloc de înregistrare a informațiilor percepute vizual și ca metodă de cercetare științifică. Procesele fotografice sunt folosite ca unul dintre principalele mijloace tehnice de „afișare” a informațiilor în fotografia artistică, amatoare și de zi cu zi, precum și în cinematografie. Fotografia nu este mai puțin, dacă nu mai importantă, pentru diverse ramuri ale științei și tehnologiei. Și, în același timp, fotografia modernă nu este doar un set de metode și mijloace de obținere a imaginilor, ci și o direcție științifică independentă bazată pe ultimele realizări ale fizicii și chimiei.
https://neculaifantanaru.com
https://neculaifantanaru.com/en/